



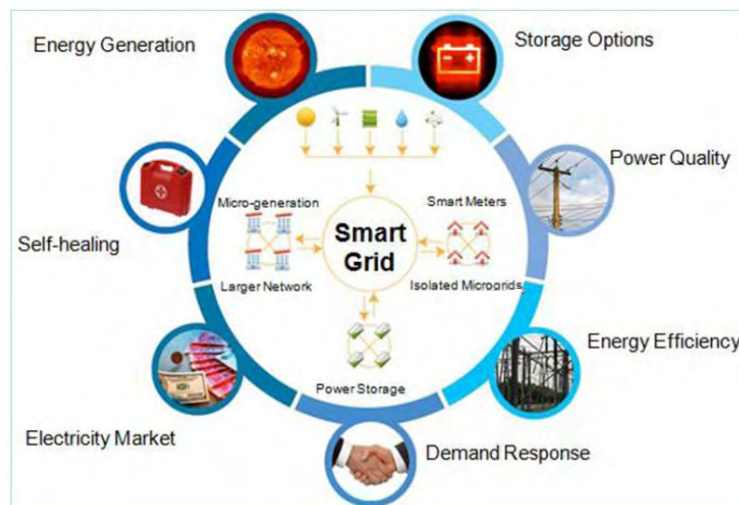
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Μεθοδολογίες Ευφυούς Διαχείρισης Δικτύων
Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας**

**Smart Grid Management Methodologies for Energy
Transmission and Distribution**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

της

Χρυσικού Βασιλικής

Βόλος, Ιούλιος 2014



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Μεθοδολογίες Ευφυούς Διαχείρισης Δικτύων
Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας**

**Smart Grid Management Methodologies for Energy
Transmission and Distribution**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

της

Χρυσικού Βασιλικής

Επιβλέποντες :

ΤΣΟΜΠΑΝΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επίκουρη Καθηγήτρια Π.Θ.

ΜΠΟΖΑΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

ΧΟΥΣΤΗΣ ΗΛΙΑΣ

Ομότιμος Καθηγητής Π.Θ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1 ΙΟΥΛΙΟΥ 2014.

(Υπογραφή)

.....
ΤΣΟΜΠΑΝΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
Επίκουρη Καθηγήτρια Π.Θ.

(Υπογραφή)

.....
ΜΠΟΖΑΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

(Υπογραφή)

.....
ΧΟΥΣΤΗΣ ΗΛΙΑΣ
Ομότιμος Καθηγητής Π.Θ.

Βόλος, Ιούλιος 2014

(Υπογραφή)

.....
Χρυσικού Βασιλική

Διπλωματική εργασία για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην «Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων», στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Copyright © Chrysikou Vasiliki, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της μεταπτυχιακής μου εργασίας κα.Τσομπανοπούλου Παναγιώτα, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κ.Μποζάνη Παναγιώτη και κ.Χούστη Ηλία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ.Τσουκαλά Ελευθέριο, καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του, τη συνεχή καθοδήγηση και τις ουσιώδεις υποδείξεις και παρεμβάσεις, που διευκόλυναν την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε μου προσπάθεια.

Βασιλική Χρυσικού
Βόλος, 2014

Πίνακας περιεχομένων

<i>Κατάλογος Διαγραμμάτων.....</i>	<i>i</i>
<i>Κατάλογος Εικόνων.....</i>	<i>ii</i>
<i>Κατάλογος Πινάκων</i>	<i>iv</i>
<i>Κατάλογος Συντομογραφιών.....</i>	<i>v</i>
<i>Περίληψη.....</i>	<i>viii</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>ix</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	1
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ 19^ο ΑΙΩΝΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ.....	3
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	3
2.3 Ο «ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ» ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	5
2.4 Η ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	6
2.4.1 Ορισμός.....	6
2.4.2 Μορφές Αγοράς.....	6
2.4.2.1 Μονοπώλιο	6
2.4.2.2 Ανταγωνισμός.....	7
2.4.2.3 Ολιγοπώλιο.....	8
2.5 Η ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΜΕΝΗ ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
2.5.1 Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς.....	9
2.5.2 Ιστορική αναδρομή της	10
2.5.3 Δομή και λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς	13
2.5.3.1 Μοντέλα αγοράς.....	13
2.5.3.2 Τύποι αγορών	13
2.5.4 Οι συμμετέχοντες στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	16
2.5.5 Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα	17
2.5.6 Οι παράγοντες και τα ρυθμιστικά όργανα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΗΜΕΡΙΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	23
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	23
3.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	23
3.2.1 Ακτινωτά και Βροχοειδή Δίκτυα.....	23
3.2.2 Εναέρια - Υπόγεια - Υποβρύχια Δίκτυα.....	24

3.2.3 Δίκτυα Υπερυψηλής - Υψηλής - Μέσης και Χαμηλής Τάσης	24
3.2.4 Δίκτυα Συνεχούς και Εναλλασσόμενου Ρεύματος	25
3.3 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	25
3.3.1 Σύστημα παραγωγής.....	26
3.3.2 Σύστημα μεταφοράς	27
3.3.3 Σύστημα υπομεταφοράς	28
3.3.4 Σύστημα διανομής	28
3.4 ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	30
3.4.1 Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα στην Ελλάδα.....	30
3.5 ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΗΜΕΡΙΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	34
3.6 ΤΟ ΞΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ (SMART GRID).....	43
4.1 ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ	43
4.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ;	44
4.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	47
4.4 ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΤΕΘΕΙ ΓΙΑ ΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	48
4.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	49
4.6 ΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ	56
4.7 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	57
4.8 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	59
4.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΦΕΛΩΝ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (MICROGRIDS AND VIRTUAL POWER PLANTS)	67
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	67
5.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ (MICROGRIDS)	67
5.2.1 Ορισμός Μικροδικτύου	67
5.2.2 Δομή ενός Μικροδικτύου	68
5.2.3 Διαχείριση του Μικροδικτύου (Microgrid Operation)	69
5.2.4 Έλεγχος Μικροδικτύων	70
5.2.5 Σχέση μεταξύ Μικροδικτύου και τοπικού κεντρικού δικτύου	71
5.2.6 Οφέλη των Μικροδικτύων.....	72
5.3 ΕΙΚΟΝΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (VIRTUAL POWER PLANTS).....	73
5.3.1 Τι είναι ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής;	73
5.3.2 Πώς δουλεύει ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής	76
5.3.3 Οφέλη των Εικονικών Σταθμών Παραγωγής.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ	78
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	78
6.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	79
6.3 Η ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	79
6.3.1 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)	80

6.3.1.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN).....	81
6.3.1.2 WiMAX.....	81
6.3.1.3 Κυψελωτές επικοινωνίες (Cellular network communication).....	82
6.3.1.4 ZigBee	83
6.3.1.5 Ασύρματα δίκτυα πλέγματος (Wireless Mesh Networks, WMN).....	84
6.3.1.6 Δορυφορικές επικοινωνίες (Satellite communications)	85
6.3.1.7 Ψηφιακή τεχνολογία μικροκυμάτων (Digital microwave technology)	85
6.3.1.8 Ελεύθερου χώρου οπτική επικοινωνία (Free-space optical communication)..	85
6.3.1.9 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)	86
6.3.1.10 Bluetooth	86
6.3.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies).....	86
6.3.2.1 Οπτικές ίνες.....	87
6.3.2.2 Power-Line Communication (PLC).....	87
6.3.2.3 Digital Subscriber Lines (DSL).....	88
6.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΞΥΠΙΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	89
6.4.1 Τα ηλεκτρονικά ισχύος.....	90
6.4.2 Συσκευές προστασίας και διακόπτες.....	90
6.4.3 Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας.....	90
6.4.4 Ευφυής θερμοστάτης.....	90
6.4.5 Ευφυής αισθητήρας.....	90
6.4.6 Συσκευές προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS)	90
6.4.7 Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης (Automatic Meter Reading,AMR).....	91
6.4.8 Συστήματα έξυπνης μέτρησης (Smart metering)	92
6.4.9 Συστήματα έξυπνης παρακολούθησης (Smart monitoring)	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	95
7.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΗΜΕΡΑ	95
7.2 ΛΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ.....	101
7.3 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΕΞΥΠΙΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	103
7.4 ΤΟ ΕΞΥΠΙΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΗΤΗΣΗΣ-ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ (SMART GRID - DEMAND RESPONSE PROCESS)	105
7.5 ΜΕΤΡΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	110
7.5.1 Ιστορική αναδρομή.....	110
7.5.2 Η έννοια της Διαχείρισης Ζήτησης (Demand Side Management, DSM).....	111
7.5.3 Κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη του DSM.....	112
7.5.4 DSM και Έξυπνο Δίκτυο.....	112
7.5.5 Στρατηγικές Διαχείρισης της Ζήτησης.....	113
7.5.6 Μηχανισμοί προώθησης του DSM.....	114
7.5.6.1 Μηχανισμοί ελέγχου.....	115
7.5.6.2 Μηχανισμοί χρηματοδότησης	116
7.5.6.3 Μηχανισμοί στήριξης.....	117
7.5.6.4 Μηχανισμοί αγοράς.....	119
7.5.7 Βήματα για την ενσωμάτωση του DSM.....	122
7.5.8 Τεχνικές και προγράμματα του DSM που έχουν εφαρμοστεί.....	123

7.5.8.1 Τεχνικές του DSM.....	123
7.5.8.2 Προγράμματα του DSM.....	125
7.5.9 Εμπόδια για την ενσωμάτωση της Διαχείρισης Ζήτησης.....	127
7.5.10 Οφέλη της Διαχείρισης Ζήτησης.....	128
7.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	129
7.6.1 Ενεργειακή Απόδοση (Energy Efficiency).....	130
7.6.2 Απόκριση Ζήτησης (Demand Response)	131
7.6.2.1 Περιγραφή της έννοιας.....	131
7.6.2.2 Στρατηγικές απόκρισης φορτίου (Load Response Strategies)	132
7.6.2.3 Κατηγορίες προγραμμάτων Απόκρισης Ζήτησης	133
7.6.2.4 Απόκριση Ζήτησης και Έξυπνα Δίκτυα.....	136
7.6.2.5 ΑΠΕ και Απόκριση Ζήτησης	137
7.6.2.6 Μειονεκτήματα από την εφαρμογή της Απόκρισης Ζήτησης	137
7.6.2.7 Οφέλη της χρήσης της Απόκρισης Ζήτησης	139
7.7 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ DSM ΚΑΙ DR	142
7.8 ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	142
7.9 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	143
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΤΟ ΟΡΑΜΑ ΕΝΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	145
8.1 Η ΙΔΕΑ ΕΝΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	145
8.2 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ	146
8.3 ΟΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ.....	148
8.4 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	153
9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	153
9.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	154
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	157

Κατάλογος Διαγραμμάτων

<u>Διάγραμμα 2.1:</u> Διάγραμμα μονοπωλιακής αγοράς.....	7
<u>Διάγραμμα 2.2:</u> Οι καμπύλες ζήτησης $D(q)$ και οι καμπύλες προσφοράς $Q(q)$, καθώς και ο τρόπος καθορισμού του σημείου ισορροπίας τους.....	7
<u>Διάγραμμα 2.3:</u> Το κέρδος στην περίπτωση του μονοπωλίου.....	8
<u>Διάγραμμα 2.4:</u> Το κέρδος στην περίπτωση του ανταγωνισμού.....	8
<u>Διάγραμμα 2.5:</u> Λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	15
<u>Διάγραμμα 3.1:</u> Ακτινωτό Δίκτυο.....	23
<u>Διάγραμμα 3.2:</u> Βροχοειδές Δίκτυο.....	24
<u>Διάγραμμα 3.3:</u> Μονοφασικό Δίκτυο.....	25
<u>Διάγραμμα 3.4:</u> Τριφασικό Δίκτυο.....	25
<u>Διάγραμμα 3.5:</u> Σχηματικό διάγραμμα μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	26
<u>Διάγραμμα 3.6:</u> Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	29
<u>Διάγραμμα 3.7:</u> Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας στην Καλιφόρνια (Η.Π.Α.) το 1999.....	39
<u>Διάγραμμα 4.1:</u> Το τρίγωνο των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα Έξυπνα Δίκτυα.....	49
<u>Διάγραμμα 4.2:</u> Το όραμα ενός Έξυπνου Δικτύου μεταφοράς.....	57
<u>Διάγραμμα 4.3:</u> Το συνολικό κόστος του Έξυπνου Δικτύου.....	58
<u>Διάγραμμα 4.4:</u> Τα εκτιμώμενα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου (σε δισεκατομμύρια δολάρια).....	66
<u>Διάγραμμα 6.1:</u> Κατηγοριοποίηση των υποψήφιων Τεχνολογιών Επικοινωνίας.....	80
<u>Διάγραμμα 7.1:</u> Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας τα τελευταία χρόνια.....	95
<u>Διάγραμμα 7.2:</u> Προφίλ ζήτησης ισχύος - Ημερήσια ζήτηση ισχύος για μία κατοικία.....	105
<u>Διάγραμμα 7.3:</u> Εβδομαδιαία ζήτηση ισχύος για μία κατοικία.....	106
<u>Διάγραμμα 7.4:</u> Μοντέλο ζήτησης- προσφοράς.....	108
<u>Διάγραμμα 7.5:</u> Ημερήσια ζήτηση Μεγάλης Βρετανίας - Παράδειγμα Time of use τιμής.....	108
<u>Διάγραμμα 7.6:</u> Ανταπόκριση καταναλωτών σε τιμολόγηση πραγματικού χρόνου.....	109
<u>Διάγραμμα 7.7:</u> Ανταπόκριση καταναλωτών στην τιμολόγηση με πρόβλεψη.....	109
<u>Διάγραμμα 7.8:</u> Διαδικασία ενσωμάτωσης του DSM.....	123
<u>Διάγραμμα 7.9:</u> Κατηγορίες της Διαχείρισης Ζήτησης (DSM).....	129
<u>Διάγραμμα 7.10:</u> Η επιρροή της Απόκρισης Ζήτησης στη διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.....	132
<u>Διάγραμμα 7.11:</u> Προβλεπόμενες επιπτώσεις του Έξυπνου Δικτύου σε μία τυπική ημερήσια καμπύλη φορτίου.....	132
<u>Διάγραμμα 7.12:</u> Το ποσοστό ανταπόκρισης των καταναλωτών στη ζήτηση και από αυτό το ποσοστό το μερίδιο κάθε στρατηγικής απόκρισης φορτίου.....	133
<u>Διάγραμμα 7.13:</u> Η ανεπάρκεια του μέσου όρου τιμολόγησης.....	140
<u>Διάγραμμα 7.14:</u> Προτεινόμενη εξέλιξη της Ενεργειακής Απόδοσης και της Απόκρισης Ζήτησης.....	143
<u>Διάγραμμα 7.15:</u> Σχεδιασμός και προγραμματισμός του ηλεκτρικού συστήματος.....	144
<u>Διάγραμμα 7.16:</u> Ο ρόλος της Ενεργειακής Απόδοσης και της Απόκρισης Ζήτησης στο σχεδιασμό και στην λειτουργία των ΣΗΕ.....	144

Κατάλογος Εικόνων

<u>Εικόνα 2.1:</u> Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	4
<u>Εικόνα 2.2:</u> Ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών συστημάτων σε εθνικό επίπεδο	5
<u>Εικόνα 3.1:</u> Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
<u>Εικόνα 3.2:</u> Γραμμές μεταφοράς.....	27
<u>Εικόνα 3.3:</u> Δίκτυο διανομής	28
<u>Εικόνα 3.4:</u> Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	29
<u>Εικόνα 3.5:</u> Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα της Ελλάδας (στοιχεία 2013).....	31
<u>Εικόνα 3.6:</u> Στύλος του ηλεκτρικού δικτύου σε επαρχία της Ινδίας.....	36
<u>Εικόνα 3.7:</u> Αρχιτεκτονική SCADA το 1970.....	40
<u>Εικόνα 3.8:</u> Αρχιτεκτονική SCADA το 2000.....	41
<u>Εικόνα 3.9:</u> Δίκτυα του σήμερα και του αύριο	42
<u>Εικόνα 4.1:</u> Παρελθόν - Μέλλον Δικτύων Ενέργειας	44
<u>Εικόνα 4.2:</u> Αναπαράσταση ενός Έξυπνου Δικτύου.....	45
<u>Εικόνα 4.3:</u> Διάγραμμα Έξυπνου Δικτύου	45
<u>Εικόνα 4.4:</u> Οι βασικές διαφορές μεταξύ του Έξυπνου Δικτύου και του υπάρχοντος Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	47
<u>Εικόνα 4.5:</u> Βασικά χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου.....	50
<u>Εικόνα 4.6:</u> Σχηματική αναπαράσταση ενός Έξυπνου Δικτύου	53
<u>Εικόνα 4.7:</u> Σχηματικό διάγραμμα μιας «έξυπνης» πόλης.....	54
<u>Εικόνα 4.8:</u> Σχηματικό διάγραμμα μίας μελλοντικής «έξυπνης» κοινωνίας	56
<u>Εικόνα 4.9:</u> Ψηφιακή οθόνη καταναλωτή εντός σπιτιού.....	60
<u>Εικόνα 4.10:</u> Οικία με εσωτερικό HAN, αυτόματο μετρητή και εφαρμογές του Έξυπνου Δικτύου.....	61
<u>Εικόνα 4.11:</u> Smart Grids σε διαστρωμάτωση	63
<u>Εικόνα 4.12:</u> Ένα Έξυπνο Δίκτυο	64
<u>Εικόνα 4.13:</u> Μία συνοπτική περιγραφή των οφελών του Έξυπνου Δικτύου.....	65
<u>Εικόνα 5.1:</u> Ένα έξυπνο Μικροδίκτυο	68
<u>Εικόνα 5.2:</u> Η δομή ενός έξυπνου Μικροδικτύου	68
<u>Εικόνα 5.3:</u> Αρχιτεκτονική Μικροδικτύου για ιεραρχικό έλεγχο	69
<u>Εικόνα 5.4:</u> Ο έλεγχος σε ένα Μικροδίκτυο.....	70
<u>Εικόνα 5.5:</u> Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής.....	74
<u>Εικόνα 5.6:</u> Σχηματισμός ΕισΠ από ομάδα μονάδων ΔΠ.....	74
<u>Εικόνα 5.7:</u> Σχηματικά ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής.....	76
<u>Εικόνα 5.8:</u> Πώς δουλεύει ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής στο Βερολίνο.....	77
<u>Εικόνα 6.1:</u> Βασική αρχιτεκτονική του Έξυπνου Δικτύου	79
<u>Εικόνα 6.2:</u> Επικοινωνία WiMAX για WAMR	82
<u>Εικόνα 6.3:</u> Αρχιτεκτονική κυβελωτού δικτύου.....	83
<u>Εικόνα 6.4:</u> Έλεγχος των οικιακών συσκευών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία ZigBee σε ένα έξυπνο σπίτι	83
<u>Εικόνα 6.5:</u> Παράδειγμα Wireless Mesh Network.....	84
<u>Εικόνα 6.6:</u> Σύστημα PLC.....	87
<u>Εικόνα 6.7:</u> Τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου	89
<u>Εικόνα 6.8:</u> Συσκευή προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS)	91
<u>Εικόνα 6.9:</u> Επαγωγικός μετρητής	92
<u>Εικόνα 6.10:</u> Έξυπνος μετρητής της EVB Energie AG	93
<u>Εικόνα 6.11:</u> Επικοινωνία του έξυπνου μετρητή με τον διαχειριστή του δικτύου.....	93
<u>Εικόνα 7.1:</u> Σύστημα με n σταθμούς παραγωγής.....	96
<u>Εικόνα 7.2:</u> Ένα απλό μοντέλο αγοράς όταν η ζήτηση είναι χαμηλή.....	100
<u>Εικόνα 7.3:</u> Ένα απλό μοντέλο αγοράς όταν η ζήτηση είναι υψηλή.....	101
<u>Εικόνα 7.4:</u> Αριστερά: Ισοστάθμιση φορτίου (Load Leveling) με αποθήκευση παραγόμενης ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες (χαμηλή ζήτηση) και απόδοσή της κατά τη διάρκεια της ημέρας, Δεξιά: Εξομάλυνση αιχμών με απόδοση αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης	102

<u>Εικόνα 7.5:</u> Τυπική μορφή ενός ενεργειακού πληροφοριακού συστήματος.....	104
<u>Εικόνα 7.6:</u> Η εξέλιξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	105
<u>Εικόνα 7.7:</u> Τρόποι μεταβολής της καμπύλης φορτίου.....	113
<u>Εικόνα 7.8:</u> Τυπικό επίπεδο της προσπάθειας στην υλοποίηση του προγράμματος.....	125
<u>Εικόνα 8.1:</u> Απεικόνιση ενός πιθανού Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας	145

Κατάλογος Πινάκων

<u>Πίνακας 2.1:</u> Τεχνολογική εξέλιξη συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	4
<u>Πίνακας 2.2:</u> Ποσοστό απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού στις Ευρωπαϊκές χώρες στο διάστημα 2003-2009.....	12
<u>Πίνακας 3.1:</u> Γραμμές Μεταφοράς (km όχλευσης - στοιχεία 2012).....	32
<u>Πίνακας 4.1:</u> Σύνομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του Έξυπνου Δικτύου	48
<u>Πίνακας 4.2:</u> Το συνολικό κόστος του Έξυπνου Δικτύου	58
<u>Πίνακας 4.3:</u> Πιθανές επιπτώσεις στους καταναλωτές της εκτίμησης του κόστους του Έξυπνου Δικτύου σύμφωνα με το EPRI	59
<u>Πίνακας 4.4:</u> Τα εκτιμώμενα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου.....	66
<u>Πίνακας 4.5:</u> Σύγκριση των εκτιμήσεων του κόστους και των οφελών του Έξυπνου Δικτύου	66
<u>Πίνακας 5.1:</u> Παραδείγματα παραμέτρων γεννητριών και ελεγχόμενων φορτίων με συνδυασμό των οποίων χαρακτηρίζεται ένας ΕισΠ.....	75
<u>Πίνακας 6.1:</u> Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών για τα Έξυπνα Δίκτυα	86
<u>Πίνακας 7.1:</u> Παραδείγματα Μηχανισμών και Προγραμμάτων	114
<u>Πίνακας 7.2:</u> Συγκριτική αξιολόγηση της Συμβατικής Απόκρισης Ζήτησης και της Απόκρισης Ζήτησης σε Έξυπνο Δίκτυο.....	137
<u>Πίνακας 7.3:</u> Τα κόστη της Απόκρισης Ζήτησης.....	139
<u>Πίνακας 7.4:</u> Οφέλη Απόκρισης Ζήτησης.....	141

Κατάλογος Συντομογραφιών

ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΕ	Ανώνυμη Εταιρεία
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΖ	Απόκριση Ζήτησης
ΑΗΣ	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΧΠ	Αγορά Χονδρικής Πώλησης
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΔΕΠΑ	Δημόσια Επιχείρηση Αερίου
ΔΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΠ	Διεσπαρμένη Παραγωγή
ΕΔ	Έξυπνο Δίκτυο
ΕΔΔΗΕ	Ελληνικό Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΙΣΠ	Εικονικός σταθμός Παραγωγής
ΕΚ	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ΕΠΕΥ	Εταιρείες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών
Ε.Ρ.	Εναλλασσόμενου Ρεύματος
ΕΣΜΗΕ	Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΣΣΔ	Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών
ΗΔ	Ηλεκτρικό Δίκτυο
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΚΟΤ	Κοινωνικό Οικιακό Τιμολόγιο
ΛΑΓΗΕ	Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
Μ/Σ	Μετασχηματιστές
ΜΤ	Μέση Τάση
ΟΤΣ	Οριακή Τιμή Συστήματος
ΠΓΔΜ	Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας
ΠΣ	Πυρηνικός Σταθμός
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΕ	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
Σ.Ρ.	Συνεχούς Ρεύματος
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΥΚΩ	Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας
Υ/Σ	Υποσταθμός
ΥΤ	Υψηλή Τάση
ΥΥΤ	Υπερυψηλή Τάση
ΧΤ	Χαμηλή Τάση
AC	Alternating Current
AES	Advanced Encryption Standard
AMI	Automatic Metering Infrastructure
AMR	Automatic Meter Reading
ANSI	American National Standards Institute
AVL	Automatic Vehicle Location
BAN	Business Area Network
BMS	Building Management System

BPL	Broadband over Power-Line
BS	Base Station
CAES	Compressed Air Energy Storage
CHP	Combined Heat and Power
CPP	Critical Peak Pricing
CPP-F	Fixed -period Critical Peak Pricing
CPP-V	Variable-period Critical Peak Pricing
CPR	Critical Peak Rebate
DC	Direct Current
DER	Distributed Energy Resources
DG	Distributed Generation
DLC	Direct Load Control
DMS	Distribution Management System
DOE	Department of Energy
DoS	Denial of Service
DR	Demand Response
DSL	Digital Subscriber Line
DSM	Demand Side Management
DSS	Decision Support System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ED-CPP	Extreme Day-Critical Peak Pricing
EDP	Extreme Day Pricing
EE	Energy Efficiency
EMS	Energy Management System
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ERPI	Electric Power Research Institute
ESCO	Energy Service Company
ESS	Energy Storage System
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission Systems
FSO	Free-Space Optics
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HAM	Home Area Network
HMI	Human Machine Interface
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
HVDC	High-Voltage Direct Current
IAN	Industrial Area Network
ICT	Information and Communications Technology
IDS	Intrusion Detection System
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
IPS	Intrusion Prevention System
IRP	Integrated Resource Plan
ISM	Industrial, Scientific and Medical band
ISO	Independent System Operator
IT	Information Technology
LAN	Local Area Network

LC	Load Controllers
LCD	Liquid-Crystal Display
LOS	Line-Of-Sight
LTE	Long Term Evolution
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
MC	Marginal Cost
MDM	Meter Data Management
MGCC	MicroGrid system Central Controller
MGs	MicroGrids
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MR	Marginal Revenue
NEA	Nuclear Energy Agency
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OQPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
OSI	Open Systems Interconnection
QoS	Quality Operating System
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
PC	Personal Computer
PEVs	Plug-in Electric Vehicles
PLC	Power Line Communication
PSTN	Public Switched Telephone Network
PV	Photovoltaics
RTP	Real Time Pricing
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SEP	Smart Energy Profile
SO	System Operator
TCP	Transmission Control Protocol
TOU	Time-Of-Use
UCTE	Union for the Coordination of the Transmission of Electricity
VLAN	Virtual Local Area Network
VPN	Virtual Private Network
VPP	Virtual Power Plant
V2G	Vehicle to Grid
WAN	Wide Area Network
WAMR	Wireless Automatic Meter Reading
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WMN	Wireless Mesh Network
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPAN	Wireless Personal Area Network
3G	third Generation
4G	Fourth Generation

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια για την περιγραφή του έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου (Smart Grid), ενός νέου μοντέλου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα μας δώσει πολλές λύσεις αντικαθιστώντας το σημερινό απαρχαιωμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Το «Έξυπνο Δίκτυο» αποτελεί τον εκσυγχρονισμό του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και ενσωματώνει τις τεχνολογίες της πληροφορικής και των επικοινωνιών στην υποδομή διανομής ενέργειας. Κύριο γνώρισμα της λειτουργίας του αποτελεί η αμφίδρομη ροή τόσο της ενέργειας όσο και των πληροφοριών. Τα έξυπνα χαρακτηριστικά του, που εντοπίζονται σε όλα τα στάδια –από την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή, έως την κατανάλωση και την εμπορία ενέργειας– θα καταστήσουν το δίκτυο πιο αποδοτικό, εύρωστο, φιλικό προς το περιβάλλον και εύκολα διαχειρίσιμο, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος σε όλα τα συστατικά στοιχεία του δικτύου. Πιθανώς, όμως, μία από τις ανησυχίες που επικρατεί όταν κάποιος οραματίζεται ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι, φυσικά, το κόστος του. Συγκρινόμενο, όμως, το κόστος του Έξυπνου Δικτύου με τα εκτιμώμενα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή του, είναι αδιαμφισβήτητο πώς το Έξυπνο Δίκτυο αποτελεί πράγματι μία καλή επένδυση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Την περαιτέρω ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων θα προωθήσουν και δύο άλλες έννοιες δικτύων, τα Μικροδίκτυα (Microgrids) και οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής (Virtual Power Plants), τα οποία αναμένονται στο μέλλον να διαδραματίσουν και αυτά σημαντικό ρόλο στον τομέα ισχύος και ενέργειας, εξαιτίας των πολλών οφελών που θα παρέχουν. Επιπλέον, πρόσθετα οφέλη προκύπτουν καθώς η έννοια των Έξυπνων Δικτύων περιλαμβάνει επίσης και τις έννοιες της Διαχείρισης και της Απόκρισης της Ζήτησης (DSM/DR). Στην κατεύθυνση αυτή οδήγησε η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και αποσυμφόρησης των δικτύων διανομής κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης. Οι έξυπνες τεχνολογίες –συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, των αυτόματων συστημάτων ελέγχου και των ψηφιακών αισθητήρων– θα δείχνουν στους καταναλωτές την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θα τους επιτρέπουν να εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια. Τέλος, το φυσικό μελλοντικό στάδιο του Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο που να καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη και να συνδέει τις περισσότερες από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, δημιουργώντας έτσι ένα «Παγκόσμιο Έξυπνο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας» (Global Smart Electricity Grid). Η ιδέα ενός τέτοιου παγκόσμιου διασυνδεδεμένου δικτύου φαίνεται να είναι τεχνολογικά εφικτή και οικονομικά ανταγωνιστική. Σίγουρα, οι επενδύσεις που απαιτούνται να γίνουν είναι πάρα πολλές, αλλά τα οφέλη που θα προκύψουν από ένα τέτοιο δίκτυο θα είναι πολυάριθμα.

Λέξεις Κλειδιά:

Έξυπνο Δίκτυο, Μικροδίκτυα, Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής, Διαχείριση Ενέργειας, Διαχείριση Ζήτησης, Απόκριση Ζήτησης, Παγκόσμιο Έξυπνο Δίκτυο.

Abstract

This thesis provides a detailed description of the smart electrical grid (Smart Grid), which is a new model of the electrical power grid that will replace the outdated electrical grid and will provide solutions to a large number of problems appearing in the existing electrical grid. The "Smart Grid" will modernize the existing grid and will incorporate information and communication technologies in its functionalities, with the two-way flow of both energy and information being its main features. Its smart features -detected at all stages, from production, transport and distribution, to consumption and marketing of energy- will make the network more efficient, robust, environmentally friendly and easily manageable, while facilitating monitor and control of every component in the network. Probably, one of the main concerns that prevails when one envisions a smart grid is, of course, its cost. However, comparing the cost of the smart grid with the estimated benefits of its application, there is no doubt that the smart grid is actually a good investment in the electricity sector. Further development of the smart grid will be promoted by two other networking concepts, i.e. Microgrids and Virtual Power Plants, which are expected to play an important role in the field of power and energy, because of the benefits they provide. Furthermore, additional benefits occur as the concept of smart grid also includes the concepts of Management and Demand Response (DSM/DR), which are driven by the need for saving energy and reducing congestion distribution during periods of peak demand. Smart technologies -including smart meters, automated control systems and digital sensors- will show consumers the pricing in real time and will allow them to save money and energy. Finally, the natural of the smart electrical grid could be a network that covers the entire planet and connects most of the major power plants in the world, thus creating a "Global Smart Electricity Grid". The idea of such a global grid seems to be technologically feasible and economically competitive. Although this requires a huge investment, such a global smart grid will provide numerous benefits.

Keywords:

Smart Grid, Microgrids, Virtual Power Plants, Energy Management, Demand Side Management, Demand Response, Global Smart Grid.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας εντείνεται η ανάγκη για εύρεση λύσης στο ζήτημα της ικανοποίησης των καταναλωτών με στόχο την αποφυγή κατασκευής νέων συμβατικών μονάδων παραγωγής και επέκτασης των δικτύων μεταφοράς. Ταυτόχρονα, εξαιτίας του παγκόσμιου αυξανόμενου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος έχει αρχίσει η όλο και πιο οργανωμένη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Η διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στη Διανεμημένη Παραγωγή, δηλαδή στην παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας με μονάδες κοντά στο φορτίο. Ωστόσο, η συνεχώς αυξανόμενη ένταξη των μονάδων Διανεμημένης Παραγωγής στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης επιφέρει προβλήματα στη διαχείριση των δικτύων αυτών και στην ικανότητά τους να επιτελέσουν σωστά τη λειτουργία τους. Απαιτείται, λοιπόν, αναβάθμιση των δικτύων διανομής με χρήση νέων ψηφιακών τεχνολογιών, ώστε να αποκτήσουν δυνατότητα αμφίδρομης ροής πληροφοριών και να γίνει δυνατός ο έλεγχος των φορτίων των καταναλωτών. Η τάση αυτή οδηγεί στη δημιουργία των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids).

1.2 Αντικείμενο της παρούσας διατριβής

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζει τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία του σημερινού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και διερευνά μεθοδολογίες για το πώς θα μπορούσε το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να μετατραπεί σε ένα «Έξυπνο Δίκτυο». Αναλύει την έννοια του Έξυπνου Δικτύου, τα χαρακτηριστικά του, καθώς και το ποιοι θα επηρεαστούν και με ποιον τρόπο από την υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου. Εξετάζει, επίσης, το πώς η τεχνολογία της πληροφορικής θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του Ευφυούς Δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, διερευνά την αρχιτεκτονική του Έξυπνου Δικτύου Επικοινωνίας, την τηλεπικοινωνιακή υποδομή του, δηλαδή ποιες από τις διαθέσιμες ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας μπορούν να εφαρμοστούν από τα μελλοντικά Έξυπνα Δίκτυα, καθώς επίσης μελετά τον εξοπλισμό που απαιτεί η υλοποίηση και η επιτυχής λειτουργία του Έξυπνου Δικτύου. Επιπλέον, πραγματοποιεί ανάλυση του κόστους και των οφελών που θα προκύψουν από την υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου και καταλήγει σε ορισμένα συμπεράσματα, για το αν τελικά το Έξυπνο Δίκτυο θα αποτελέσει πράγματι μία καλή επένδυση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολουθεί μία ανάλυση του προβλήματος του economic dispatch, καθώς και το πώς μπορεί να λυθεί αποτελεσματικά το ενεργειακό πρόβλημα που επικρατεί σήμερα με το συνδυασμό της Διαχείρισης της Ζήτησης και του Έξυπνου Δικτύου. Στη συνέχεια, αναλύονται οι έννοιες του Demand Side Management (DSM) και του Demand Response (DR), περιγράφονται τα προγράμματα DSM/DR και αναλύονται τα οφέλη τους σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων. Επιπλέον, εξετάζονται και δύο άλλες έννοιες δικτύων, τα Μικροδίκτυα και οι

Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής, οι οποίες περιλαμβάνονται στο ευρύτερο πλαίσιο των Ευφυών Δικτύων και πραγματοποιείται μία ανάλυση για το πώς αυτές οι δύο έννοιες δικτύων θα καταφέρουν να προωθήσουν την περαιτέρω ανάπτυξη του Έξυπνου Δικτύου. Τέλος, προβάλλεται η ιδέα ενός «Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου Ενέργειας», δηλαδή ενός δικτύου που θα καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη, και εξετάζονται θέματα που αφορούν την υλοποίησή του, τη λειτουργία του, τις επενδύσεις που θα χρειαστούν, καθώς και τα εκτιμώμενα οφέλη που θα υπάρξουν από τη λειτουργία του.

1.3 Διάρθρωση της μεταπτυχιακής διατριβής

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται αρχικά μία ιστορική αναδρομή της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή πότε πρωτοεμφανίστηκε ο ηλεκτρισμός στη ζωή των ανθρώπων, την πορεία που ακολούθησε και πώς κατάφερε να αλλάξει σταδιακά την καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Στη συνέχεια, ορίζεται η σημασία του όρου «αγορά του ηλεκτρισμού» και αναλύεται η δομή και η λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά και η λειτουργία του σημερινού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται ο ορισμός του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται ταξινόμηση των δικτύων σε διάφορες κατηγορίες, παρουσιάζεται η λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και αναλύονται τα προβλήματα που παρουσιάζει σήμερα.

Το Κεφάλαιο 4 αποτελεί μία εισαγωγή στο Έξυπνο Δίκτυο. Αρχικά παρουσιάζεται η μετάβαση από το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο στο Έξυπνο Δίκτυο και περιγράφονται οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του συμβατικού δικτύου και του Έξυπνου Δικτύου. Στη συνέχεια, αναλύεται η έννοια του Ευφυούς Δικτύου και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του, οι στόχοι που έχουν τεθεί για τα Έξυπνα Δίκτυα, καθώς και το ποιοι θα επηρεαστούν από αυτά και με ποιον τρόπο, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου πραγματοποιείται μία ανάλυση του κόστους και των οφελών του.

Το Κεφάλαιο 5 αποτελεί μία εισαγωγή στα Μικροδίκτυα και στους Εικονικούς Σταθμούς Παραγωγής, δύο έννοιες δικτύων που περιλαμβάνονται στο ευρύτερο πλαίσιο των Ευφυών Δικτύων, και τα οποία θα προωθήσουν την περαιτέρω ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι έννοιες του Μικροδικτύου και του Εικονικού Σταθμού Παραγωγής, περιγράφεται η δομή τους, καθώς επίσης και η διαχείριση και ο έλεγχός τους, και τέλος αναλύονται τα πιθανά οφέλη που θα προκύψουν από τη λειτουργία τους.

Το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στις τεχνολογίες της πληροφορικής που χρησιμοποιούν τα Έξυπνα Δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του Έξυπνου Δικτύου Επικοινωνίας, η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του, δηλαδή ποιες από τις διαθέσιμες ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας μπορούν να εφαρμοστούν από τα μελλοντικά Έξυπνα Δίκτυα, καθώς επίσης παρουσιάζεται και ο εξοπλισμός που απαιτείται για την υλοποίησή και την επιτυχή λειτουργία του Έξυπνου Δικτύου.

Το Κεφάλαιο 7 αναφέρεται στη διαχείριση της ενέργειας και τα Έξυπνα Δίκτυα. Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά παρουσιάζεται το πρόβλημα του economic dispatch, καθώς και το πώς μπορεί να λυθεί αποτελεσματικά το ενεργειακό πρόβλημα που επικρατεί σήμερα με το συνδυασμό της Διαχείρισης της Ζήτησης και του Έξυπνου Δικτύου. Στη συνέχεια, αναλύεται η έννοια του Demand Side Management (DSM), περιγράφονται οι τεχνικές και τα προγράμματα DSM, καθώς επίσης αναλύονται τα οφέλη αλλά και τα εμπόδια από την ενσωμάτωση της Διαχείρισης της Ζήτησης. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται η Διαχείριση της Ζήτησης, δηλαδή η Ενεργειακή Απόδοση και η Απόκριση Ζήτησης, και αναλύονται αυτές οι δύο έννοιες.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται το όραμα ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου, δηλαδή ενός δικτύου που θα καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη, και εξετάζεται η λειτουργία του, οι επενδύσεις που θα χρειαστούν για την υλοποίησή του, καθώς επίσης και τα εκτιμώμενα οφέλη που θα προκύψουν από τη δημιουργία ενός τέτοιου δικτύου.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, καθώς επίσης αναφέρονται και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2

Η ηλεκτρική ενέργεια από τον 19^ο αιώνα έως σήμερα

2.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας του πολιτισμού. Είναι μία τεράστια δύναμη της φύσης, την οποία ο άνθρωπος κατάφερε να κατακτήσει και να εκμεταλλευτεί προς όφελός του. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τη βάση της οικονομίας και της σύγχρονης διαβίωσης. Σ' αυτήν στηρίζονται η βιομηχανία, η επιστημονική έρευνα, οι τηλεπικοινωνίες, ο τομέας των υπηρεσιών, η θέρμανση και ο κλιματισμός των κατοικιών και άλλων χώρων. Η παραγωγή και η ορθολογική κατανομή ενέργειας είναι, επομένως, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε χώρα όσον αφορά την οικονομική της ανάπτυξη και τη βελτίωση του επιπέδου ζωής των κατοίκων της, με αποτέλεσμα η ενεργειακή πολιτική -που περιλαμβάνει συνοπτικά την εξασφάλιση, την εξοικονόμηση και τη διάθεση της ενέργειας- να αποτελεί το πρώτιστο μέλημα των κυβερνήσεων. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια για την επινόηση τεχνικών βελτιώσεων, που αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή της με μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος.

2.2 Ιστορική αναδρομή της ηλεκτρικής ενέργειας

Ποιος θα μπορούσε να φανταστεί τη σύγχρονη ζωή χωρίς την ηλεκτρική ενέργεια; Κάτι που σήμερα θεωρείται ως αυτονόητο, πρωτοεμφανίστηκε στη ζωή των ανθρώπων μόλις πριν από περίπου έναν αιώνα, ενώ η πρόσβαση της πλειονότητας του πληθυσμού σ' αυτή τη μορφή ενέργειας αποτελεί μια πολύ πρόσφατη κατάκτηση. Για μεγάλο μέρος του πληθυσμού της Γης, ειδικά στον Τρίτο Κόσμο, η πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια παραμένει ακόμα ζητούμενο.

Η εμφάνιση του ηλεκτρισμού δρομολόγησε τη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση. Οι συνθήκες της παραγωγής άλλαξαν ριζικά με την εισαγωγή της νέας μορφής ενέργειας, που αντικατέστησε τον ατμό, το πετρέλαιο και το φωταέριο. Η ηλεκτρική ενέργεια προσέφερε μεγάλη οικονομία, ασφάλεια, υψηλή ποιότητα και μικρότερη μόλυνση του περιβάλλοντος. Οι ηλεκτροκινητήρες, μικροί και ευέλικτοι, έδωσαν τη δυνατότητα να επιλεγεί μια νέα παραγωγική δομή στα εργοστάσια. Η βιομηχανία, αλλά και οι πόλεις πήραν νέα μορφή όταν η ηλεκτρική ενέργεια άρχισε να παράγεται και να διανέμεται ευρύτερα. [1]

Τα πάντα ξεκίνησαν την τελευταία 20ετία του 19^{ου} αιώνα. Το 1881 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Gadalming της Αγγλίας, μεταξύ Λονδίνου και Πόρτσμουθ, με ισχύ 746 KW. Η πόλη αυτή απέκτησε και τον πρώτο δημόσιο ηλεκτρικό φωτισμό, αρχικά με 3 λάμπες βολταϊκού τόξου και 7 λάμπες πυρακτώσεως και αργότερα με 4 και 27 λάμπες αντίστοιχα. Τη γεννήτρια κινούσαν δύο υδρόμυλοι και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτιόταν απολύτως από τις βροχοπτώσεις.

Το επόμενο έτος, εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Στουτγάρδη της Γερμανίας και ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει μέχρι 30 λάμπες πυρακτώσεως.

Το ίδιο έτος άρχισαν να φωτίζουν δρόμους του Βερολίνου ηλεκτρικές λάμπες χαμηλής ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνταν από γειτονικές μονάδες παραγωγής. Το έτος 1885 εγκαταστάθηκε στο Βερολίνο ο πρώτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είχε από την πόλη την άδεια να τροφοδοτεί καταναλωτές σε ακτίνα μέχρι 800 μέτρα. Σ' αυτή την περιοχή, η εταιρία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είχε το δικαίωμα να τοποθετεί αγωγούς για την παροχή ρεύματος. [2]



Εικόνα 2.1: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η δεκαετία 1880-1890 υπήρξε μια δεκαετία ραγδαίας ανάπτυξης και εξέλιξης της νέας τεχνολογίας. Εφευρέτες και κατασκευαστές θα προσπαθήσουν να επιλύσουν τα προβλήματα που συναντούσαν και να εξελίξουν τις μεθόδους και τις διαδικασίες. [1]

Στις Η.Π.Α. δημιουργούνται οι πρώτες εταιρείες παραγωγής και εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία του 19^{ου} αιώνα και ταχύτατα συνεργάζονται με τις αντίστοιχες της Ευρώπης, ξεκινώντας με γοργούς ρυθμούς τον εξηλεκτρισμό του Δυτικού Κόσμου.

Ο ηλεκτρισμός αλλάζει σταδιακά την όψη της καθημερινής ζωής των ανθρώπων καθώς φέρνει την επανάσταση στην παραγωγή αγαθών, στις μεταφορές, στις επικοινωνίες και στην οργάνωση της οικιακής ζωής. Η προώθηση των εφαρμογών του στο χώρο της επιστήμης και της τεχνολογίας, με θαυμαστά αποτελέσματα, θα τον καταστήσουν πρωταρχική προϋπόθεση του σύγχρονου πολιτισμού.

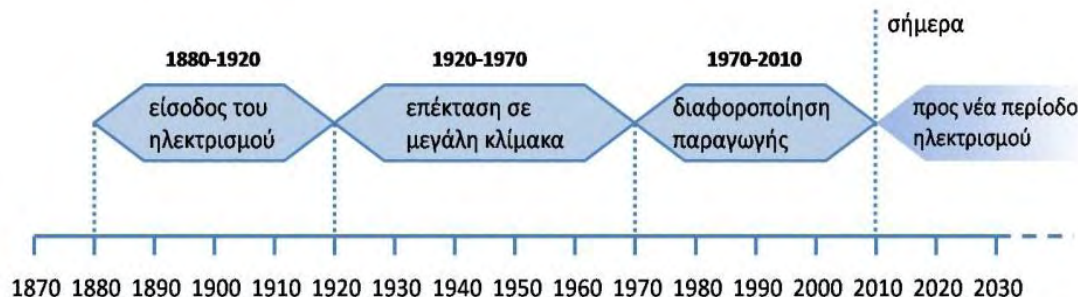
Μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο η ανάπτυξη εκτεταμένων και αξιόπιστων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας θεωρήθηκε απαραίτητο έργο υποδομής. Σήμερα, κατασκευάζονται μονάδες παραγωγής μεγάλης ισχύος με στόχο την ελάττωση του κόστους της παραγόμενης kWh. Η ενέργεια αυτή για να μεταφερθεί στα κέντρα κατανάλωσης απαιτεί υψηλές τάσεις μεταφοράς. Παράλληλα, λόγοι οικονομικής λειτουργίας αλλά και ασφάλειας επιβάλλουν τη διασύνδεση των δικτύων. Έτσι, όλες σχεδόν οι χώρες της Ευρώπης είναι σήμερα διασυνδεδεμένες ηλεκτρικά, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία των εγκαταστάσεων και δίνει τη δυνατότητα ανταλλαγών και αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας. [3]

		Τάση (kV)	Απόσταση (km)
1890	Lauffen Γερμανία	25	175
1912	Lauchhammer Γερμανία	110	100
1924	San Francisco ΗΠΑ	220	400
1952	Hallsberg Σουηδία	380	800
1961	Μάγχι	± 100 dc	-
1963	ΗΠΑ και ΕΣΣΔ	500	-
1965	Καναδάς	735	600
1974	Αφρική – Μοζαμβίκη	± 533 dc	1500
1980	Βραζιλία	± 600 dc	800
1980	Ρωσία	1200	1500

Πίνακας 2.1: Τεχνολογική εξέλιξη συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [3]

2.3 Ο «ηλεκτρισμός» στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ιδρύεται το 1889 στην Αθήνα από την Γενική Εταιρεία Εργοληψιών. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει και αυτή το ηλεκτρικό φως, καθώς Βελγική Εταιρεία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροχοδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες παραγωγής κατά την εποχή εκείνη λειτουργούσαν διεθνώς με ατμομηχανές.



Εικόνα 2.2: Ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών συστημάτων σε εθνικό επίπεδο[7]

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρία «Thomson-Houston» (η οποία συγχωνεύθηκε με την εταιρεία «Edison Electric Light Company» του εφευρέτη Thomas Edison στη γνωστή μας «General Electric») με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία» που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση και άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια.

Το 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα 400 περίπου εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που φυσικά εισάγονταν από το εξωτερικό.

Η κατάσταση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό, λοιπόν, ήταν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Για να εξαπλωθεί η ηλεκτρική ενέργεια ομοιόμορφα σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομήχανους παραγωγής ενέργειας.
- Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα.
- Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιογόνες περιοχές.

Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε η ΔΕΗ με τον πλέον επιτυχή τρόπο. Έτσι, τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, για να λειτουργήσει «χάριν του δημοσίου συμφέροντος» με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή.

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε. Παράλληλα, η ΔΕΗ ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά-σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.

Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, η ΔΕΗ αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτρισμού της, δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας.

Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά μας ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας. [4][5][6]

2.4 Η αγορά του ηλεκτρισμού

2.4.1 Ορισμός

Ο ηλεκτρισμός (ενέργεια και ισχύς), αν εξετασθεί υπό ένα οικονομικό πρίσμα, αντιμετωπίζεται σαν ένα αγαθό ικανό να πωλείται, να αγοράζεται και να είναι εμπορεύσιμο. Ως «αγορά ηλεκτρισμού» μπορεί να οριστεί το οικονομικό σύστημα εντός του οποίου πραγματοποιούνται αγορές ηλεκτρισμού μέσω της ζήτησης (για αγορά) και πωλήσεις μέσω της προσφοράς (για πώληση). Επιπλέον, όπως συμβαίνει σε κάθε οικονομία, όπου διακινούνται αγαθά και υπηρεσίες, έτσι και σε μία αγορά ηλεκτρισμού, ανάλογα με το σύστημα που επικρατεί, υπάρχει και ο συγκεκριμένος προσδιορισμός της τιμής στην αγορά αυτή. Έτσι, μία αγορά μπορεί να λειτουργεί υπό μονοπωλιακό καθεστώς, υπό καθεστώς πλήρους ανταγωνισμού ή σε ολιγοπωλιακό περιβάλλον. Θεωρητικά, αυτό είναι δυνατόν να συμβαίνει και για το αγαθό «ηλεκτρισμός». Τέλος, οι αγορές ηλεκτρισμού μπορούν να εκτείνονται και εκτός εθνικών συνόρων, με τη διασύνδεση μεμονωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες και κανόνες. [8]

2.4.2 Μορφές Αγοράς

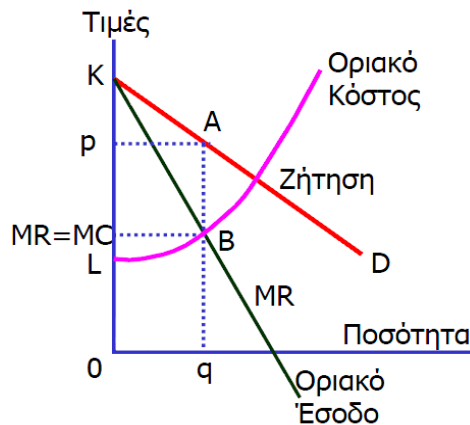
Η μορφή αγοράς εντός της οποίας λειτουργεί μια επιχείρηση θα καθορίσει τις αποφάσεις της σχετικά με την ποσότητα και την τιμή του προϊόντος που θα προσφέρει. Οι μορφές αγοράς είναι οι εξής [9]:

- ⇒ Το Μονοπώλιο.
- ⇒ Ο Ανταγωνισμός.
- ⇒ Το Ολιγοπώλιο.

2.4.2.1 Μονοπώλιο

Σε μια μονοπωλιακή αγορά υπάρχει μια μόνο επιχείρηση που προσφέρει το προϊόν. Η επιχείρηση αυτή είτε έχει αποκτήσει με νόμο το αποκλειστικό δικαίωμα της πώλησης ενός προϊόντος σε μία αγορά, είτε διότι η φύση της παραγωγής ή διάθεσης του προϊόντος δεν επιτρέπει την είσοδο άλλων επιχειρήσεων στην αγορά. Στη δεύτερη περίπτωση, στην οποία ανήκουν συνήθως εταιρείες που διαχειρίζονται δίκτυα (ηλεκτρισμού, ύδρευσης, τηλεπικοινωνίας, φυσικού αερίου) μιλούμε για φυσικό μονοπώλιο.

Η μονοπωλιακή επιχείρηση δύναται να καθορίσει η ίδια την τιμή και την ποσότητα του προϊόντος που θα παράγει, έχοντας ως βασική επιδίωξή της τη μεγιστοποίηση του κέρδους της. Επιπλέον, κάθε μονοπωλιακή αγορά ηλεκτρισμού είναι άμεσα συνδεδεμένη με το κράτος, καθώς οι μονοπωλητές ηλεκτρισμού είναι κατά κύριο λόγο δημόσιοι οργανισμοί.



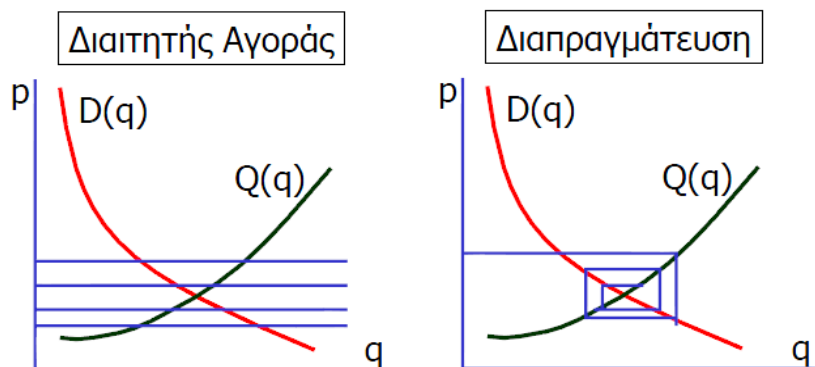
Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα μονοπωλιακής αγοράς [10]

Στο Διάγραμμα 2.1 φαίνεται το σημείο ισορροπίας A της μονοπωλιακής αγοράς, το οποίο καθορίζεται με βάση το οριακό έσοδο (MR), το οριακό κόστος (MC) και την καμπύλη ζήτησης (D). Το σημείο ισορροπίας προκύπτει αφού πρώτα βρεθεί το σημείο B που είναι η τομή του οριακού εσόδου με το οριακό κόστος (συνθήκη βέλτιστου) και που προσδιορίζει τη βέλτιστη ποσότητα q . Χρησιμοποιώντας τώρα την ποσότητα q , μπορούμε μέσω της συνάρτησης ζήτησης, να βρούμε την τιμή ισορροπίας p . Επιπλέον, στο παραπάνω διάγραμμα το κόστος αντιστοιχεί στο $0LBq$, ενώ το κέρδος στο $LpAB=LKB$. [10]

2.4.2.2 Ανταγωνισμός

Σε ένα πλήρως ανταγωνιστικό περιβάλλον, η επιχείρηση λαμβάνει ως δεδομένη την τιμή που καθορίζεται από τις συνθήκες της αγοράς (ισορροπία αγοράς) και συγκεκριμένα από το νόμο της προσφοράς και της ζήτησης. Αυτό σημαίνει, δηλαδή, ότι η επιχείρηση δεν μπορεί να επηρεάσει την τιμή. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συγκεκριμένη τιμή p του προϊόντος που παράγει, η επιχείρηση υποχρεούται να προγραμματίσει την παραγωγή της προκειμένου να μεγιστοποιήσει το κέρδος της. [10]

Στόχος σε μία ανταγωνιστική αγορά είναι η εύρεση του σημείου ισορροπίας της προσφοράς και ζήτησης. Στο Διάγραμμα 2.2 φαίνονται οι καμπύλες ζήτησης $D(q)$ και οι καμπύλες προσφοράς $Q(q)$, καθώς και ο τρόπος καθορισμού του σημείου ισορροπίας τους, αν υποθέσουμε ότι p είναι η τιμή και q η ποσότητα του αγαθού που ζητείται/προσφέρεται.



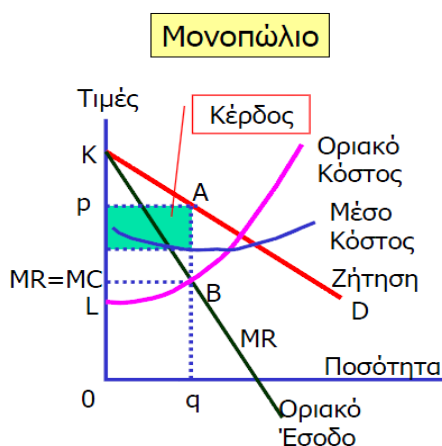
- **Διαιτητής:** καθορίζει αρχικά χαμηλή τιμή στην οποία έχουμε πλεονάζουσα ζήτηση, την αυξάνει μέχρι να έχουμε πλεονάζουσα προσφορά και μετά την μειώνει σε επίπεδο υψηλότερο από το αρχικό, κ.ο.κ.
- **Διαπραγμάτευση:** ένας από τους δύο θέτει τιμή (έστω πλεονάζουσα προσφορά). Στην τιμή αυτή ο καταναλωτής αγοράζει μικρότερη ποσότητα, την οποία όμως ποσότητα ο παραγωγός προσφέρει σε χαμηλότερη τιμή, σε αυτήν τη τιμή όμως ο καταναλωτής αγοράζει μεγαλύτερη ποσότητα, κ.ο.κ

Διάγραμμα 2.2: Οι καμπύλες ζήτησης $D(q)$ και οι καμπύλες προσφοράς $Q(q)$, καθώς και ο τρόπος καθορισμού του σημείου ισορροπίας τους [11]

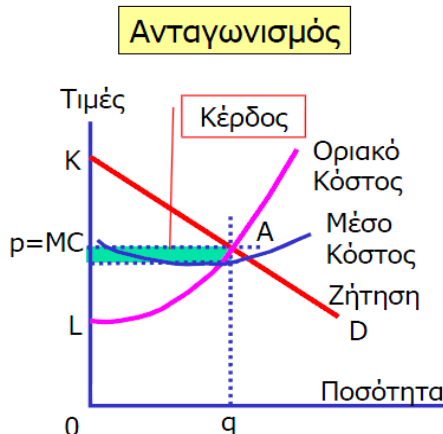
Προκειμένου να υπάρξει ένας τέλειος και ελεύθερος ανταγωνισμός θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις [11]:

- i) Τόσο κάθε καταναλωτής, όσο και κάθε παραγωγός είναι πολύ μικροί έναντι του μεγέθους της αγοράς, επομένως κατά τη διαμόρφωση των αποφάσεών τους λαμβάνουν ως δεδομένη την τιμή της αγοράς την οποία δεν μπορούν να επηρεάσουν.
- ii) Κάθε συμμετέχων δρα απόλυτα ανεξάρτητα από τους άλλους.
- iii) Κάθε παραγωγός εύκολα και χωρίς κόστος μπορεί να εισέλθει και να προσφέρει στην αγορά, αλλά και να αποχωρήσει από την αγορά.
- iv) Όλοι οι συμμετέχοντες στην αγορά έχουν πλήρη και τέλεια πληροφόρηση σχετικά με τη συμπεριφορά των άλλων και την εκάστοτε διαμόρφωση της αθροιστικής προσφοράς και ζήτησης, καθώς και την τιμή της αγοράς και δεν έχουν καμία αβεβαιότητα.
- v) Υπάρχει άφθονη ποικιλία καταναλωτών και παραγωγών.

Τέλος, όσον αφορά το κέρδος στον ανταγωνισμό, αυτό είναι σαφώς μικρότερο από αυτό του μονοπωλίου, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα που ακολουθούν (Διάγραμμα 2.3 και Διάγραμμα 2.4).



Διάγραμμα 2.3: Το κέρδος στην περίπτωση του μονοπωλίου [10]



Διάγραμμα 2.4: Το κέρδος στην περίπτωση του ανταγωνισμού [10]

2.4.2.3 Ολιγοπώλιο

Στην ενδιάμεση κατάσταση μίας αγοράς, όπου συμμετέχει μικρός αριθμός επιχειρήσεων, γίνεται λόγος για ολιγοπωλιακό περιβάλλον. Το ολιγοπώλιο σχηματίζεται, όταν ο αριθμός των επιχειρήσεων στην αγορά είναι τέτοιος, ώστε κάθε επιχείρηση μεμονωμένα να έχει τη δυνατότητα να επιδρά πάνω στη συνολικά προσφερόμενη ποσότητα, άρα και στην τιμή. Βασικό χαρακτηριστικό του ολιγοπωλίου είναι ότι οι ενέργειες μιας επιχείρησης έχουν επίδραση στη συμπεριφορά των άλλων επιχειρήσεων. Επιπλέον, η συνολική προσφερόμενη ποσότητα του προϊόντος ενός ολιγοπωλιακού κλάδου είναι μικρότερη από αυτήν που προσφέρεται σε συνθήκες τέλει ανταγωνισμού. Συνεπώς, η τιμή που διαμορφώνεται στην αγορά είναι υψηλότερη σε σχέση με τον τέλει ανταγωνισμό. Η τιμή παύει να είναι μέσο ανταγωνισμού μεταξύ των επιχειρήσεων, οι οποίες επικεντρώνονται πλέον σε μεθόδους διαφοροποίησης και προώθησης του προϊόντος. [9]

Αξίζει να σημειωθεί, πως όταν αναφερόμαστε σε μία απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού εννοούμε μία oligοπωλιακή κατάσταση, για τις αγορές ξεχωριστών χωρών. Αντίθετα, αν μιλάμε για μία ενιαία εσωτερική ευρωπαϊκή αγορά, τότε προσεγγίζουμε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον αγοράς, το οποίο θα ίσχυε ικανοποιητικά εφόσον ενισχυθούν οι διασυνδέσεις των δικτύων και αρθούν τα εμπόδια διακίνησης ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών.

2.5 Η απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

2.5.1 Στοιχεία της απελευθερωμένης αγοράς

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα αγαθό το οποίο αφορά έναν πολύ μεγάλο αριθμό καταναλωτών. Έως τώρα το συγκεκριμένο αγαθό προσφερόταν από μία μόνο επιχείρηση, η οποία στις περισσότερες χώρες ήταν κρατική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας να αποτελεί μονοπώλιο υπό δημόσιο έλεγχο με τη μοναδική επιχείρηση που παρήγαγε και εμπορευόταν ηλεκτρική ενέργεια να έχει τη δυνατότητα να καθορίζει τόσο την τιμή, μετά την έγκρισή της από το κράτος, όσο και την ποσότητα προσφοράς.

Τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες η βιομηχανία της ενέργειας υπόκειται σε θεμελιώδεις αλλαγές. Η μέχρι τώρα καθιερωμένη δομή της βιομηχανίας εξελίσσεται σε μία κατανομημένη και ανταγωνιστική μορφή, όπου οι κινητήριοι μοχλοί της αγοράς της ενέργειας προσβλέπουν στο μειωμένο κόστος παραγωγής και διάθεσης του ηλεκτρισμού. Το μονοπωλιακό καθεστώς της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζει την ορθολογική λήψη αποφάσεων κατά το σχεδιασμό και την επέκταση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, δεν οδηγεί σε βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων και συνήθως η λήψη αποφάσεων επηρεάζεται από την εξυπηρέτηση πολιτικών συμφερόντων.[12] Με την απελευθέρωση της αγοράς, η αγορά μετατρέπεται βαθμιαία σε oligοπωλιακή, καθώς το ισχύον θεσμικό πλαίσιο επιτρέπει την είσοδο και άλλων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτήν.

Η απελευθέρωση της αγοράς έθεσε σαν προϋποθέσεις την «αποσύνθεση» της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Εστιάζει στον περιορισμό της κρατικής παρέμβασης, στη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και της ιδιοκτησίας αυτών, καθώς και στην εισαγωγή ανταγωνισμού μέσω της εδραίωσης της χονδρεμπορικής (wholesale) και της λιανεμπορικής (retail) αγοράς. Επίσης, προϋποθέσεις αποτελεί ο έλεγχος των δικτύων μεταφοράς και διανομής από ανεξάρτητες υπηρεσίες διαχείρισης και η δυνατότητα της ενεργής συμμετοχής των καταναλωτών στην αγορά.[12] Η αναδιάρθρωση αυτή, σύμφωνα με τους υποστηρικτές της, θα επιφέρει αύξηση του κοινωνικού πλεονάσματος, χαμηλότερες τιμές, διαφανείς μεθόδους τιμολόγησης και θα αυξήσει τις επιλογές των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, η αναδιάρθρωση αυτή της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφορά στο διαχωρισμό του ανταγωνιστικού τομέα της παραγωγής από τα παραδοσιακά μονοπώλια των δικτύων μεταφοράς και διανομής. Ο αποτελεσματικός διαχωρισμός της παραγωγής από τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς έτσι αποφεύγονται φαινόμενα μη ανταγωνιστικής συμπεριφοράς και διασφαλίζεται η πρόσβαση άλλων επιχειρήσεων στον τομέα της μεταφοράς. Επίσης, με τον οριζόντιο διαχωρισμό των επιχειρήσεων μειώνεται η συγκέντρωση του ελέγχου της αγοράς σε λίγες επιχειρήσεις και ενθαρρύνεται ο ανταγωνισμός. Η προϋπόθεση αυτή είναι απαραίτητη ώστε να διευκολυνθεί ο ανταγωνισμός σε βραχυχρόνιο επίπεδο και να ενθαρρυνθεί η είσοδος νέων επιχειρήσεων μακροπρόθεσμα [13]. Σε αντίθετη περίπτωση, οι εταιρείες παραγωγής δεν έχουν κίνητρο να δραστηριοποιηθούν στην αγορά. Επιπρόσθετα, η εδραίωση αγορών χονδρικής και λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την απελευθέρωση της αγοράς. Αν και οι μεγάλοι καταναλωτές, όπως οι βιομηχανίες, έχουν ήδη επωφεληθεί από τον ανταγωνισμό σε επίπεδο χονδρικής πώλησης, οι οικιακοί καταναλωτές δεν απολαμβάνουν ακόμη τα οφέλη από τη λιανική πώληση.

Σε κάθε χώρα, ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο ρόλος των ρυθμιστικών αρχών για τη διατήρηση του ανταγωνισμού και η επιβολή ρυθμίσεων και ελέγχου από τις αρμόδιες ρυθμιστικές αρχές πρέπει να προηγείται της απελευθέρωσης. Ανάμεσα στα καθήκοντα των ρυθμιστικών αρχών συγκαταλέγεται ο έλεγχος διασφάλισης της ελεύθερης και χωρίς

διακρίσεις πρόσβασης των επιχειρήσεων παραγωγής στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς. Δεδομένου ότι περίπου το 1/3 της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από τη χρέωση για διανομή και μεταφορά, οι ρυθμιστικές αρχές πρέπει να ορίζουν ένα μοντέλο καθορισμού τιμής για τις υπηρεσίες αυτές. Επιπλέον, η ιδιωτικοποίηση των επιχειρήσεων έχει ως κύριο αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση του λειτουργικού κόστους των επιχειρήσεων, αφού αντικειμενικός σκοπός τους είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους. [12]

Τέλος, κατά τον σχεδιασμό της νέας απελευθερωμένης αγοράς θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά συστήματα [14]:

- Η ηλεκτρική ενέργεια από τη φύση της είναι δύσκολο να αποθηκευτεί και πρέπει να είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή, καλύπτοντας τη ζήτηση. Ωστόσο, η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται εντός ευρέων ορίων μέσα στον ημερήσιο κύκλο, αλλά και εποχιακά μέσα στον ετήσιο κύκλο. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει οικονομικά βιώσιμη λύση στο θέμα της αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού, απαιτείται να υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εφεδρείας ισχύος προκειμένου να καλύπτεται το κυμαινόμενο φορτίο. Για παράδειγμα, το σημερινό διασυνδεδεμένο σύστημα της Ελλάδας έχει ένα μέσο φορτίο της τάξεως των 6.000MW, αλλά διατηρεί μία εγκατεστημένη ισχύ 10.000MW περίπου, προκειμένου να μπορεί να αντιμετωπίζει την καλοκαιρινή αιχμή των 8.900MW που διαρκεί ελάχιστες ώρες το χρόνο (π.χ. λόγω κλιματιστικών). Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι άλλη είναι η αξία της ισχύος όταν το φορτίο υπερβαίνει τα 10.000MW, οπότε το περιθώριο εφεδρείας είναι πολύ μικρό, και άλλη, πολύ μικρότερη, είναι η αξία της ισχύος όταν το φορτίο είναι κάτω από τα 5.000 MW, όταν δηλαδή υπάρχει μεγάλο περιθώριο διαθέσιμης εφεδρικής ισχύος.
- Για τις περισσότερες εφαρμογές του ηλεκτρισμού ως αγαθού δεν υπάρχει υποκατάστατο, ενώ το κόστος των διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος για την οικονομία, τη δημόσια υγεία και την εθνική ασφάλεια είναι πολύ μεγάλο. Το γεγονός αυτό, στο σημερινό τεχνολογικό πολιτισμό μας, καθιστά τη βραχυχρονίως προσδιοριζόμενη ζήτηση του αγαθού ηλεκτρισμός εντόνως ανελαστική.
- Εκτός από την ανελαστικότητα της ζήτησης, η προσφορά της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται και από απρόβλεπτους παράγοντες, όπως π.χ. από τις καιρικές συνθήκες. Αυτό έχει ιδιαίτερα μεγάλη επίδραση σε συστήματα που στηρίζουν την ηλεκτροπαραγωγή τους κατά πολύ μεγάλο ποσοστό στην υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή παραγωγή.
- Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να εγκατασταθεί νέο ηλεκτροπαραγωγικό δυναμικό είναι πολύ μεγάλο και τα τελευταία χρόνια έχει μεγαλώσει περισσότερο λόγω των, συχνά υπερβολικών, περιβαλλοντικών ελέγχων και περιορισμών που έχουν επιβληθεί. Στην καλύτερη περίπτωση, η εγκατάσταση μίας νέας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί τουλάχιστον τρία έτη. Εάν η απόφαση κατασκευής ληφθεί όταν ήδη οι τιμές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχουν πάρει ανοδική πορεία, προειδοποιώντας ότι υπάρχει στενότητα διαθέσιμης ισχύος και άρα το σύστημα χρειάζεται ενίσχυση, τότε η ελάχιστη περίοδος των τριών ετών είναι επαρκές χρονικό διάστημα για να σημειωθούν αυξήσεις τιμών και κρίση, λόγω στενότητας ισχύος, στην αγορά.
- Τέλος, ο ηλεκτρισμός, ως αγαθό, είναι ομογενές προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι όταν παρέχεται, μέσω ενός δικτύου, έχει τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά (π.χ. τάσεως και συχνότητας) για όλους τους καταναλωτές ανεξάρτητα από ποιον παραγωγό προέρχεται η ενέργεια. Έτσι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παραγωγών περιορίζεται μόνο στο επίπεδο της τιμής του προϊόντος χωρίς να συνυπάρχουν κριτήρια ποιότητας.

2.5.2 Ιστορική αναδρομή της

Τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού σε όλες τις χώρες του κόσμου γνώρισαν πολύ ταχεία ανάπτυξη τα πρώτα 70 χρόνια του 20^{ου} αιώνα, λόγω της συνεχούς εκβιομηχάνισης, της αστικοποίησης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας ασκούνταν από τις κυβερνήσεις των κρατών και ο τομέας κατατασσόταν στα φυσικά μονοπώλια. Τα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που ήταν απαραίτητα,

έπρεπε να ανοικοδομηθούν μετά από τις καταστροφές που είχαν υποστεί λόγω του πολέμου, ενώ το αρχικό κόστος των επενδύσεων, επέβαλλε τη ρυθμιστική παρέμβαση του κράτους έτσι ώστε να επιτευχθούν οι απαραίτητες οικονομίες κλίμακας, να διασφαλιστεί η αποδοτικότητα και τελικά να προκύψει μείωση του κόστους παραγωγής. Η ρυθμιστική παρέμβαση συνίσταται στον προσδιορισμό των τιμών πώλησης με τρόπο που να καλύπτονται τα έξοδα λειτουργίας της μονοπωλιακής παραγωγής και να υπάρχει και ένα περιθώριο κέρδους, απαραίτητο για τη δημιουργία αποθεματικών για την επέκταση των δραστηριοτήτων της επιχείρησης ή την αποπληρωμή δανειακών κεφαλαίων.[15] Όπως είναι φυσικό, οι ιδιωτικές επιχειρήσεις ηλεκτρισμού έτειναν να εκμεταλλεύονται τη μονοπωλιακή θέση τους στην αγορά. Αυτή η τάση είναι που καθιέρωσε, επίσης, τη ρυθμιστική παρέμβαση των κυβερνήσεων και την άμεση ανάδειξη του κράτους με τις εκτεταμένες εθνικοποιήσεις των εταιρειών ηλεκτρισμού σε πολλές χώρες. Βέβαια, η μονοπωλιακή προστασία των εταιρειών ηλεκτρισμού αντισταθμιζόταν με την υποχρέωση εκ μέρους τους της απρόσκοπτης και χωρίς διακρίσεις παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε εύλογες τιμές.

Έτσι, ενώ μέχρι πριν από δύο δεκαετίες η αγορά του ηλεκτρισμού ήταν παγκοσμίως συνυφασμένη με το μονοπωλιακό καθεστώς, πρώτη η Χιλή το 1988 εισήγαγε τον ανταγωνισμό στα πλαίσια μίας χονδρεμπορικής αγοράς και καινοτόμησε στο μονοπωλιακό μέχρι τότε παγκόσμιο περιβάλλον. Το καθοριστικό, όμως, γεγονός για τις αγορές ηλεκτρισμού συνέβη το 1990 όταν η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου προχώρησε στην ιδιωτικοποίηση της βιομηχανίας ηλεκτρισμού στην Αγγλία και την Ουαλία. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Βρετανούς, χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια σαν πρότυπο ή τουλάχιστον ήταν καταλυτική για την απελευθέρωση πολλών χωρών, όπως η Αυστρία, η Νέα Ζηλανδία και η Αλβέρτα. Ωστόσο, σε πολλές από αυτές τις άλλες χώρες η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού συνέβη χωρίς την ευρεία ιδιωτικοποίηση που χαρακτήρισε το Ηνωμένο Βασίλειο.[8]

Στην Ευρώπη, η σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 προκειμένου να μειωθεί ο κρατικός παρεμβατισμός στον ευαίσθητο αυτό τομέα και να λειτουργήσει ανεμπόδιστα η ενιαία ευρωπαϊκή αγορά. Η εξέλιξη αυτή οφείλεται τόσο στην κυριαρχία της θεωρίας της απορρύθμισης (deregulation) της αγοράς όσο και στην εξέλιξη της τεχνολογίας. Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ευρωπαϊκό ενεργειακό ισοζύγιο έδωσε τεράστια ώθηση σε τεχνολογίες που αναιρούσαν την ανάγκη δημιουργίας οικονομιών κλίμακας και συνεπώς ανέτρεπαν τη λογική που στήριζε το φυσικό μονοπώλιο. Σύμφωνα με τον πρόεδρο την Exxon Mobil, Lee Raymond «*Η αγορά ενέργειας είναι η μεγαλύτερη βιομηχανία στον κόσμο, της οποίας το μέγεθος δεν συγκρίνεται ούτε με την αγορά της πληροφορικής ούτε καν με αυτήν των τηλεπικοινωνιών*».

Υπολογίζεται ότι ο κύκλος εργασιών της παγκόσμιας ενεργειακής αγοράς ανέρχεται σε 1,7 έως 2 τρισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (στοιχεία από την εταιρεία συμβούλων Booz, Allen & Hamilton). Κοινή, κρατούσα, αντίληψη είναι ότι η περαιτέρω ανάπτυξη της τεράστιας αυτής αγοράς, πέρα από τα εθνικά όρια και σε διεθνές επίπεδο, εξαρτάται από την απελευθέρωση του ανταγωνισμού, που θα οδηγήσει σε πιο ανταγωνιστικές τιμές ανά κλάδο, αλλά και μεταξύ των κλάδων (π.χ. φυσικό αέριο-πετρέλαιο) και θα ενθαρρύνει τις παραγωγικές και οργανωτικές καινοτομίες.

Το πρόσφατο, όμως, φιάσκο της Καλιφόρνιας, με τα επανειλημμένα blackout και τις εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στα πρόθυμα της χρεοκοπίας, επαναφέρουν τη συζήτηση που άρχισε στη δεκαετία του 1980 για τα προβλήματα που σχετίζονται με την απελευθέρωση, καθώς η χειραγώγηση των τιμών από τις μεγάλες εταιρείες παραγωγής δεν παύει να υφίσταται με τη μορφή άτυπων «συμφωνιών κυρίων», όπως τουλάχιστον καταγράφηκε μέσα από την εμπειρία της πολιτείας αυτής. Παρ' όλα αυτά, η διαδικασία της απορρύθμισης ή απελευθέρωσης φαίνεται ότι είναι πλέον μη αναστρέψιμη.[15]

Το 2009 υιοθετήθηκε σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, μία νέα νομοθεσία, το 3^ο Πακέτο Απελευθέρωσης της Ενεργειακής Αγοράς, η οποία στοχεύει στη δημιουργία κανόνων και προδιαγραφών που θα επιτρέψουν τη συμμετοχή περισσότερων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά. Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτόν, απαιτείται ο πλήρης διαχωρισμός των δραστηριοτήτων της παραγωγής και της μεταφοράς-διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με

σκοπό την τόνωση του ανταγωνισμού και τη δημιουργία κινήτρων για τη βελτίωση των δικτύων και την ανάπτυξη διασυνδέσεων μεταξύ γειτονικών χωρών, ώστε να επιτευχθεί μελλοντικά μια ολοκληρωμένη πανευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, αρκετές χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν προχωρήσει με ταχύτερους ρυθμούς στην απελευθέρωση, όπως η Βρετανία (έχει «ανοίξει» την αγορά της από το 1990), η Γερμανία (ιδιωτικοποίησε τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου τον Απρίλιο του 1998 και τον Οκτώβριο του 2000 αντίστοιχα), η Σουηδία, η Φιλανδία, η Δανία, η Ισπανία, το Λουξεμβούργο και η Ιρλανδία. Επίσης, η Πολωνία είναι από τις πρώτες χώρες της Ανατολικής Ευρώπης που ιδιωτικοποίησαν όλες τις μονάδες παραγωγής, καθώς και το εθνικό δίκτυο διανομής. Έτσι, σχεδόν τα 2/3 της αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης απολαμβάνουν σήμερα χαμηλότερες ενεργειακές τιμές. Οι πρώην εταιρείες κοινής ωφέλειας απαντούν στην αύξηση του ανταγωνισμού μέσω πληθώρας συγχωνεύσεων και εξαγορών, έτσι ώστε να προστατεύσουν τα μερίδιά τους στις εθνικές αγορές και να αποκτήσουν πρόσβαση στις αγορές των άλλων κρατών-μελών.

Βέβαια, είναι πολύ νωρίς να απαντηθεί το ερώτημα αν η απελευθέρωση αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη πέτυχε το σκοπό της, δηλαδή να διαμορφώσει ανταγωνιστικές τιμές προς όφελος του καταναλωτή. Κρίνοντας από το παράδειγμα της Καλιφόρνιας, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι καταρχήν να αποτραπούν οι παραγωγοί από τα όποια σχέδια χειραγώγησης των τιμών στην αγορά. Κρίνοντας από το αποτέλεσμα, πιο επιτυχημένη φαίνεται να είναι η βρετανική εμπειρία, σύμφωνα με την οποία καμία εταιρεία δεν επιτρέπεται να ελέγχει περισσότερο από το 20% της προσφοράς, ώστε να μην μπορεί να αποκτήσει καθοριστική δύναμη στην αγορά.[15]

Χώρα	2003	2005	2007	2009
Αυστρία	100%	100%	100%	100%
Βέλγιο	52%	90%	100%	100%
Γαλλία	37%	70%	100%	100%
Γερμανία	100%	100%	100%	100%
Δανία	100%	100%	100%	100%
Ελλάδα	34%	62%	100%	100%
Εσθονία	10%	12%	n/a	33%
Ηνωμένο Βασίλειο	100%	100%	100%	100%
Ιταλία	70%	79%	100%	100%
Ιρλανδία	56%	100%	100%	100%
Ισπανία	100%	100%	100%	100%
Λετονία		76%	100%	100%
Νορβηγία	100%	100%	100%	100%
Λιθουανία	17%	74%	100%	100%
Λουξεμβούργο	57%	84%	100%	100%
Ολλανδία	63%	100%	100%	100%
Ουγγαρία	30%	67%	100%	100%
Πολωνία	51%	80%	100%	100%
Πορτογαλία	45%	100%	100%	100%
Σλοβακία	64%	79%	100%	100%
Σλοβενία	41%	77%	100%	100%
Σουηδία	100%	100%	100%	100%
Τσεχία		74%	100%	100%
Φινλανδία	100%	100%	100%	100%

Πίνακας 2.2: Ποσοστό απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού στις Ευρωπαϊκές χώρες στο διάστημα 2003-2009

2.5.3 Δομή και λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς

2.5.3.1 Μοντέλα αγοράς

Για την εδραίωση μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν δύο στόχοι: α) η διασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας και β) η διασφάλιση οικονομικής λειτουργίας. Η ασφαλής λειτουργία κάνει χρήση διάφορων υπηρεσιών μερικές από τις οποίες σχετίζονται με την παρουσία ειδικών συνθηκών λειτουργίας, ενώ η οικονομική λειτουργία στοχεύει πρωτίστως στο κόστος παραγωγής.

Για την κάλυψη των παραπάνω στόχων υπάρχουν 3 μοντέλα αγοράς [12]:

- i) Η Κοινοπραξία Ισχύος (Pool Corporation): Η Κοινοπραξία Ισχύος ορίζεται σαν μία κεντροποιημένη πλειοδοσία που εκκαθαρίζει την αγορά για τους πωλητές και τους αγοραστές. Οι πωλητές και οι αγοραστές της ηλεκτρικής ισχύος προτείνουν προσφορές για το ποσό της ισχύος που είναι πρόθυμοι να εμπορευτούν στην αγορά. Οι πωλητές ανταγωνίζονται για το δικαίωμα της τροφοδοσίας του δικτύου με ενέργεια και όχι των τελικών καταναλωτών. Εάν η τιμή της πλειοδοσίας ενός πωλητή είναι υψηλή, τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να πουλήσει. Από την άλλη, εάν η τιμή της πλειοδοσίας είναι χαμηλή, τότε πιθανώς να μην είναι σε θέση να αγοράσει. Σε αυτό το μοντέλο της αγοράς, ανταμείβονται κυρίως οι χαμηλού κόστους μονάδες παραγωγής. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής του Δικτύου (Independent System Operator, ISO) μέσα στην Κοινοπραξία Ισχύος διαχειρίζεται την οικονομική διεκπεραίωση και παράγει μία απλή (spot) τιμή για την ηλεκτρική ενέργεια. Η τιμή αυτή αποτελεί μία ένδειξη για την κατανάλωση αλλά και για τις διενέργειες των παραγωγών. Η δυναμική της αγοράς οδηγεί τη spot τιμή σε ένα ανταγωνιστικό επίπεδο που είναι ίσο με το οριακό κόστος των περισσότερων αποδοτικών πλειοδοτών. Οι νικητές πλειοδότες πιστώνονται με τη spot τιμή η οποία ισούται με την υψηλότερη τιμή της πλειοδοσίας.
- ii) Τα Διμερή Συμβόλαια (Bilateral Contracts): Τα Διμερή Συμβόλαια είναι διαπραγματεύσιμες συμφωνίες μεταξύ δύο εμπόρων για την παράδοση και την παραλαβή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτές οι διαπραγματεύσεις θέτουν τους όρους και τις συμφωνίες μεταξύ των εμπόρων και είναι ανεξάρτητες του ISO. Παρόλα αυτά, σε αυτό το μοντέλο ο ISO θα επαληθεύσει ότι υφίσταται μία επαρκής ικανότητα μεταφοράς ισχύος ώστε να ολοκληρωθούν οι δοσοληψίες. Το μοντέλο των Διμερών Συμβολαίων είναι αρκετά ευέλικτο εφόσον οι συμμετέχοντες σε αυτό είναι σε θέση να επισυνάψουν την επιθυμητή συμφωνία. Μειονεκτεί, όμως, όσον αφορά το υψηλό κόστος της διαπραγμάτευσης και της συγγραφής του συμβολαίου και εμπεριέχει το ρίσκο της φερεγγυότητας των συμμετεχόντων.
- iii) Το Υβριδικό Μοντέλο (Hybrid Model): Το Υβριδικό Μοντέλο περιέχει στοιχεία και από τα δύο προηγούμενα μοντέλα. Σ' αυτό το μοντέλο, κάθε πελάτης είναι ελεύθερος στο να συνάψει συμβόλαια απ' ευθείας με τους παραγωγούς ή να επιλέξει να αγοράσει με τη τιμή της Κοινοπραξίας. Το πλεονέκτημα του Υβριδικού Μοντέλου είναι η κάλυψη των πραγματικών αναγκών σε ενέργεια των πελατών, αλλά και η ώθηση της δημιουργίας ειδικών πολιτικών τιμολόγησης και υπηρεσιών που να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις ανάγκες των πελατών.

2.5.3.2 Τύποι αγορών

Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι αγορών που η λειτουργία της μίας αλληλοσχετίζεται με αυτή της άλλης. Αυτές είναι οι εξής [12]:

- i) Αγορά Ενέργειας (Energy Market): Στην αγορά ενέργειας λαμβάνει χώρα το ανταγωνιστικό εμπόριο του ηλεκτρισμού. Πρόκειται για ένα κεντροποιημένο μηχανισμό που διευκολύνει το εμπόριο ενέργειας μεταξύ πωλητών και αγοραστών. Η εκκαθάριση της αγοράς έχει ουδέτερο χαρακτήρα και η όλη λειτουργία της αγοράς ελέγχεται από τον ISO.
- ii) Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών (Ancillary Services Market): Οι Επικουρικές Υπηρεσίες είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας της λειτουργίας του δικτύου και η προμήθειά τους γίνεται μέσω του ανταγωνισμού. Γενικά, οι πλειοδοσίες των Επικουρικών Υπηρεσιών αποτελούνται από πλειοδοσία χωρητικότητας και ενέργειας. Η εκκαθάριση μπορεί να γίνει σειριακά ή ταυτόχρονα. Κατά τη σειριακή προσέγγιση, η

εκκαθάριση γίνεται πρώτα στην υψηλότερη ποιοτικά υπηρεσία και στη συνέχεια στις αμέσως υψηλότερες. Για παράδειγμα, έστω 4 τύποι υπηρεσιών εμπορεύονται υψηλότερης προς χαμηλότερης ποιότητας, δηλαδή εφεδρεία ρύθμισης, στρεφόμενη εφεδρεία, μη στρεφόμενη εφεδρεία και εφεδρεία αντικατάστασης. Η εκκαθάριση θα γίνει πρώτα για την εφεδρεία ρύθμισης και έπειτα για τις άλλες που ακολουθούν. Σε κάθε γύρο, οι πλειοδότες μπορούν να πλειοδοτήσουν ξανά τους μη εκπληρωμένους πόρους τους από τους προηγούμενους γύρους. Δηλαδή, εάν η τιμή της πλειοδοσίας ενός πλειοδότη δεν γίνει δεκτή στο γύρο της εφεδρείας ρύθμισης, ο πλειοδότης μπορεί να πλειοδοτήσει ξανά στο γύρο της στρεφόμενης εφεδρείας. Επίσης, έχει το δικαίωμα να αλλάξει την τιμή στο νέο γύρο. Στην ταυτόχρονη προσέγγιση, οι πλειοδότες πλειοδοτούν όλες τις υπηρεσίες τους ταυτοχρόνως στον ISO. Ο τελευταίος θα εκκαθαρίσει την αγορά μέσω της επίλυσης ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Η αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση εξαρτάται από την αγορά και μπορεί να λαμβάνει υπ' όψιν την ελαχιστοποίηση του κοινωνικού κόστους, του κόστους εφοδιασμού, κ.ά.

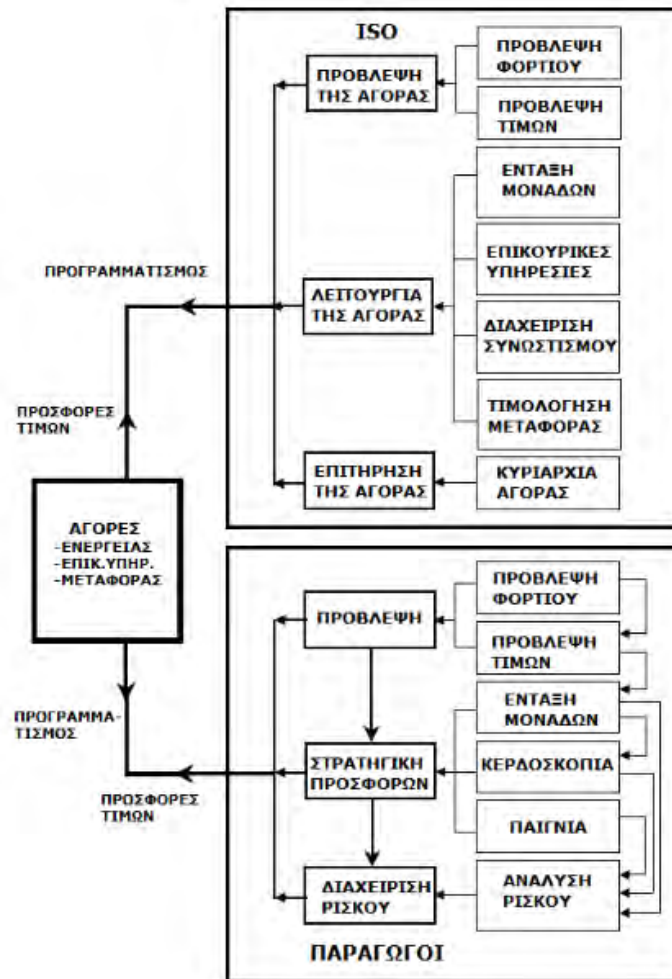
- iii) Αγορά Μεταφοράς (Transmission Market): Το δίκτυο μεταφοράς αποτελεί μία πλατφόρμα ανάπτυξης ανταγωνισμού μεταξύ των παραγωγών για την τροφοδότηση δικτύων διανομής και μεγάλων καταναλωτών. Το αγαθό που εμπορεύεται στην Αγορά Μεταφοράς είναι το δικαίωμα στη μεταφορά. Αυτό σημαίνει ότι έχει δικαίωμα στην έγχυση ισχύος στο δίκτυο ή έχει δικαίωμα στην απορρόφηση ισχύος. Ο φέρων του δικαιώματος στη μεταφορά μπορεί να εξασκήσει αυτό για τη μεταφορά ισχύος ή να αποζημιωθεί με το να διαβιβάσει το δικαίωμα σε άλλους. Η σημασία του δικαιώματος γίνεται πιο εμφανής σε περιπτώσεις μεγάλης συμφόρησης στην Αγορά Μεταφοράς. Ο πλειστηριασμός του δικαιώματος στη μεταφορά ελέγχεται από τον ISO και ο αντικειμενικός στόχος είναι να καθοριστούν εκείνες οι τιμές πλειοδοσίας που μεγιστοποιούν τις χρεώσεις δικτύου λαμβάνοντας υπ' όψιν τους περιορισμούς του δικτύου. Ο αγοραστής του δικαιώματος οφείλει να γνωστοποιεί τη μέγιστη ποσότητα του δικαιώματος που διατίθεται να αγοράσει, όπως επίσης την τιμή αγοράς και τα σημεία της έγχυσης και της απορρόφησης. Ομοίως, ο πωλητής οφείλει να γνωστοποιεί τη μέγιστη ποσότητα, την τιμή πώλησης και τα σημεία.

Εκτός, όμως, από τους παραπάνω τύπους αγορών, υπάρχουν και οι ακόλουθοι μηχανισμοί αγορών [12]:

- ⇒ Προθεσμιακή Αγορά (Forward Market): Στις περισσότερες αγορές ηλεκτρισμού, η προθεσμιακή αγορά επόμενης ημέρας (day-ahead) εξυπηρετεί στον προγραμματισμό των πόρων για κάθε ώρα της επόμενης ημέρας. Η προθεσμιακή αγορά επόμενης ώρας (hour-ahead) εξυπηρετεί για τη διευθέτηση των αποκλίσεων του προγραμματισμού της επόμενης ώρας. Οι υπηρεσίες της ενέργειας και της εφεδρείας μπορούν να εμπορευτούν στην προθεσμιακή αγορά. Εφόσον λάβει χώρα η εκκαθάριση, ακολουθούν οι πλειοδοτήσεις για τις εφεδρικές υπηρεσίες, σειριακά ή ταυτόχρονα. Εάν ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει χωρίς τη διαχείριση της συμφόρησης στην Αγορά Μεταφοράς, τότε ο ISO θα θέσει σε προμήθεια τις εφεδρικές υπηρεσίες. Εάν παρουσιαστεί συμφόρηση σε κάποιο μέρος του δικτύου, ο πλειστηριασμός των εφεδρικών υπηρεσιών θα γίνει σε ζωνική βάση και όχι σε όλο το δίκτυο.
- ⇒ Αγορά Πραγματικού Χρόνου (Real-Time Market): Η απαίτηση για αξιοπιστία της αγοράς ενέργειας προϋποθέτει την εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Παρόλα αυτά, οι διάφορες τιμές πραγματικού χρόνου του φορτίου, της παραγωγής και της μεταφοράς δύναται να διαφέρουν από τον προγραμματισμό της Προθεσμιακής Αγοράς. Έτσι, λοιπόν, απαιτείται μία αγορά πραγματικού χρόνου για να καλύψει τις απαιτήσεις της εξισορρόπησης. Η Αγορά Πραγματικού Χρόνου ελέγχεται από τον ISO. Οι διαθέσιμοι πόροι για τη διευθέτηση των ενεργειακών ανισορροπιών πραγματικού χρόνου κατηγοριοποιούνται βάσει του χρόνου απόκρισης. Για παράδειγμα, ο αυτόματος έλεγχος της παραγωγής δρα σε μερικά δευτερόλεπτα, ενώ οι στρεφόμενες και οι μη στρεφόμενες εφεδρείες μπορούν να είναι διαθέσιμες σε μερικά λεπτά από τη στιγμή που δίνεται το σήμα από τον ISO. Η κατανομή (dispatch) των μονάδων σε πραγματικό χρόνο γίνεται από τον ISO και η αρχή περιλαμβάνει τη μονάδα με τη χαμηλότερη τιμή πλειοδοσίας. Εάν η παραγωγή ξεπεράσει τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο τότε μπορούν

να χρησιμοποιηθούν μειωμένες τιμές πλειοδοσίας. Η τιμή αγοράς συνήθως υπολογίζεται ανά χρονικά διαστήματα των 5 ή 10 λεπτών.

Στο Διάγραμμα 2.5 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα της λειτουργίας της απελευθερωμένης αγοράς. Ο ρόλος του ISO είναι να διαχειρίζεται την αγορά με αποδοτικό και ασφαλή τρόπο και να επιτηρεί τις κύριες ενέργειες που λαμβάνουν χώρα. Αρχικά, ο ISO πρέπει να διεξάγει πρόβλεψη φορτίου έτσι ώστε να εγγυηθεί την επάρκεια της παραγωγής για την κάλυψή του, αλλά και την επάρκεια των επικουρικών υπηρεσιών για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας της όλης λειτουργίας. Στη συνέχεια, ο ISO οφείλει να κατέχει ειδικά εργαλεία για την επίλυση του προβλήματος της ένταξης των μονάδων, καθώς και για τη χρέωση χρήσης του δικτύου και των επικουρικών υπηρεσιών.



Διάγραμμα 2.5: Λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [12]

Βασικές οντότητες στην αγορά είναι οι εταιρείες παραγωγής. Ο στόχος του παραγωγού είναι η μεγιστοποίηση των κερδών και προς αυτήν την κατεύθυνση διεξάγεται πρόβλεψη φορτίου και τιμών. Η πρόβλεψη των τιμών είναι σημαντική εφόσον αντανάκλαει την κατάσταση της αγοράς. Η λειτουργία της αγοράς χαρακτηρίζεται από διάφορες αβεβαιότητες, όπως οι μελλοντικές τιμές, η ζήτηση και οι στρατηγικές των ανταγωνιστών παραγωγών. Η κυριαρχία της αγοράς είναι ένας όρος που χαρακτηρίζει μη ανταγωνιστικές πρακτικές. Για παράδειγμα, κάποιος παραγωγός που είναι σε θέση να επηρεάσει την τιμή ή τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριαρχία της αγοράς περιορίζει τον υγιή ανταγωνισμό στη διάθεση της ενέργειας, στην προσφορά υπηρεσιών και στην τεχνολογική καινοτομία. Φαινόμενα κυριαρχίας μπορούν να λάβουν χώρα εσκεμμένα ή συμπτωματικά. Παράδειγμα εσκεμμένης κυριαρχίας είναι η προσφορά διατήρησης της αξιοπιστίας από ακριβείς μονάδες, ενώ παράδειγμα συμπτωματικής κυριαρχίας είναι ο περιορισμός της μεταφορικής ικανότητας του συστήματος μεταφοράς σε συγκεκριμένες περιοχές εντός του δικτύου. Στην τελευταία περίπτωση, οι περιορισμοί της μεταφοράς μπορούν να εμποδίσουν

διάφορες μονάδες να τροφοδοτήσουν το δίκτυο. Επίσης, σε περιπτώσεις απουσίας κατάλληλων μετρητικών διατάξεων, υπάρχει ελλιπής πληροφορία για τη ζήτηση, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος παραγωγής σε περιπτώσεις περιόδους μεγάλης ζήτησης. Το γεγονός αυτό, μπορεί να ωφελήσει συγκεκριμένους παραγωγούς που, επικαλούμενοι έλλειψη πόρων, να οδηγήσουν την αύξηση των τιμών. Εσκεμμένη κυριαρχία της αγοράς συμβαίνει και στην περίπτωση που ο ιδιοκτήτης του δικτύου παρέχει παρεμφερείς πληροφορίες σε συγκεκριμένους παραγωγούς. [12]

2.5.4 Οι συμμετέχοντες στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Η μετάβαση στο πλαίσιο της απελευθερωμένης αγοράς έχει φέρει αλλαγές στο ρόλο των παραδοσιακών οντοτήτων που ήταν οι κύριοι συμμετέχοντες στην καθετοποιημένη αγορά και έχει δημιουργήσει τις κατάλληλες συνθήκες για την παρουσία νέων οντοτήτων που λειτουργούν ανεξάρτητα. Παρακάτω περιγράφονται οι κύριες οντότητες μιας απελευθερωμένης αγοράς [12]:

- **Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος (Independent System Operator):** Δεν μπορεί να υπάρξει ουσιαστικός έλεγχος του δικτύου χωρίς την ύπαρξη του ISO. Ανάμεσα σε άλλα, ο ISO είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των χρεώσεων του δικτύου, για τη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος, για τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης και για το μακροπρόθεσμο προγραμματισμό του συστήματος. Ο ISO δρα αμερόληπτα και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες σε άλλες οντότητες της αγοράς.
- **Ρυθμιστική Αρχή (Regulation Authority):** Επιτηρεί την αγορά, προάγει τον υγιή ανταγωνισμό, εισηγείται και εκδίδει οδηγίες για την εύρωστη λειτουργία της αγοράς, είναι υπεύθυνη για σχετικές αδειοδοτήσεις, παρέχει συμβουλευτική στα όργανα χάραξης της ενεργειακής πολιτικής, κ.ά.
- **Εταιρείες Παραγωγής (Generation Companies):** Ο Παραγωγός λειτουργεί μονάδες παραγωγής που τροφοδοτούν το δίκτυο, μεγάλους καταναλωτές ή εταιρείες διανομής. Μπορεί να συμμετάσχουν στις αγορές ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών και οφείλουν να αξιολογούν από μόνοι τους τα διάφορα ρίσκα που σχετίζονται με την αγορά. Εκτός από την ενεργή ισχύ, οι Εταιρείες Παραγωγής μπορούν να εμπορευτούν άεργη ισχύ και εφεδρείες λειτουργίας.
- **Εταιρείες Μεταφοράς (Transmission Companies):** Έχουν το ρόλο της κατασκευής, της ιδιοκτησίας, της λειτουργίας και της συντήρησης του δικτύου μεταφοράς σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Παρέχουν τη μεταφορά του ηλεκτρισμού της χονδρεμπορικής αγοράς και τα έσοδά τους προέρχονται από τις χρεώσεις του δικτύου τους που το χρησιμοποιούν άλλες οντότητες και επιβαρύνονται για αυτήν τη χρήση.
- **Εταιρείες Διανομής (Distribution Companies):** Παρέχουν μέσω των εγκαταστάσεών τους την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μέσα σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Είναι υπεύθυνες για τη λειτουργία του δικτύου διανομής και έχουν την υποχρέωση να ανταποκρίνονται σε θέματα ανεπάρκειας ηλεκτρισμού και σε θέματα αξιοπιστίας. Επίσης, είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά επίπεδα και για τις επικουρικές υπηρεσίες.
- **Εταιρείες Προμήθειας (Retail Companies):** Σε μονοπωλιακή αγορά ενέργειας, η προμήθεια του ηλεκτρισμού γίνεται από τις Εταιρείες Διανομής. Οι Προμηθευτές είναι νεοσύστατες εταιρείες μέσα στην ανταγωνιστική αγορά. Αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από τη χονδρεμπορική αγορά και την πουλάνε στους τελικούς καταναλωτές. Εκτός από τον ηλεκτρισμό, παρέχουν επίσης μία σειρά υπηρεσιών στους πελάτες.
- **Aggregator:** Πρόκειται για οντότητα που ομαδοποιεί διάφορους καταναλωτές σε ομάδες-αγοραστές. Η ομάδα αγοράζει μεγάλα μπλοκ ηλεκτρισμού και υπηρεσιών σε χαμηλότερη τιμή. Στην ουσία, ο Aggregator είναι ένας μεσολαβητής μεταξύ των προμηθευτών και των τελικών καταναλωτών. Όταν ένας Aggregator αγοράζει ηλεκτρισμό και τον πουλάει στους καταναλωτές δρα σαν Προμηθευτής.
- **Καταναλωτές (Consumers):** Οι Καταναλωτές είναι είτε συνδεδεμένοι απ' ευθείας με το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης (πελάτες δικτύου) ή με τη διανομή. Στην απελευθερωμένη αγορά ο Καταναλωτής, βάσει της σχετικής νομοθεσίας, επιλέγει τον προμηθευτή που επιθυμεί ανεξάρτητα της γεωγραφικής του θέσης.

2.5.5 Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα

Μετά από μια μακρά περίοδο αναζητήσεων, προετοιμασίας, μελετών και οργανωτικών βημάτων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, δημιουργείται βαθμιαία ελεύθερη αγορά και στην Ελλάδα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώθηκε επίσημα το 1999 (Νόμος 2773/1999). Η αλλαγή αυτή μεταμόρφωσε την αγορά ηλεκτρισμού και ενέργειας της Ελλάδας σε έναν από τους πιο ελκυστικούς τομείς ανάπτυξης και ευκαιριών στην Ευρώπη. Έτσι, ενώ κατά το παρελθόν η ΔΕΗ κατείχε το μονοπώλιο της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, σήμερα εταιρείες από όλο τον κόσμο σπεύδουν να εκμεταλλευτούν αυτήν την εξαιρετική ευκαιρία στην ελληνική ενεργειακή αγορά. Μεταξύ των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα σήμερα είναι οι εξής: Ελληνικά Πετρέλαια, Motor Oil, Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ), Προμηθέας Gas Α.Ε., ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε., Όμιλος Μυτηλιναίου, ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή, Global Energy, Energy Solutions, Solar Cells Hellas, Next Solar, Enova, Edison, Conergy, EGL, Acciona, Enel, Eurys Energy, Gamesa, Ρόκας-Iberdrola, Endesa, WPD, κ.ά. Οι εταιρείες αυτές ασχολούνται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή φυσικού αερίου και τον ταχύτατα αναπτυσσόμενο τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [16]

Με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι πελάτες θα είναι σε θέση να επιλέγουν οι ίδιοι τον προμηθευτή τους, αλλά και οι νέοι παραγωγοί θα μπορούν να ανταγωνιστούν τη ΔΕΗ, που μέχρι σήμερα ήταν ο μόνος παραγωγός. Πρόκειται για μια επανάσταση στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας, που παραδοσιακά κυριαρχούνταν διεθνώς από μονοπώλια και απόλυτη ρύθμιση. Οι αλλαγές αυτές είναι για τη χώρα μας πρωτόγνωρες, αλλά και διεθνώς η εμπειρία από την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγάλη.

Από 1.7.2004 αναγνωρίζεται δικαίωμα επιλογής προμηθευτή για όλους τους καταναλωτές πλην των οικιακών. Για τους τελευταίους, το δικαίωμα αυτό αναγνωρίστηκε από 1.7.2007, με εξαίρεση τους καταναλωτές που είναι εγκατεστημένοι σε Απομονωμένα Μικροδίκτυα (μη Διασυνδεδεμένα νησιά). Έτσι, το 2007 θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ορόσημο για τις ενεργειακές αγορές σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, λόγω της πλήρους απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ήδη πολλοί Ευρωπαίοι καταναλωτές απολαμβάνουν στην καθημερινότητά τους το δικαίωμα επιλογής Προμηθευτή. Όμως, στις χώρες της Ευρώπης που δεν έχουν ενεργοποιηθεί ιδιαίτερα άλλοι αξιόπιστοι Προμηθευτές ενέργειας πέραν του δεσπόζοντος, όπως στην Ελλάδα, το δικαίωμα αυτό δεν έχει ασκηθεί για την πλειοψηφία των καταναλωτών.

Το πρώτο βήμα προς το χτίσιμο των απαραίτητων προϋποθέσεων για τη λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας ήταν η λήψη μέτρων σε θεσμικό επίπεδο, προκειμένου να εξαιρεθούν οι στρεβλώσεις που επικράτησαν κατά την εικοσαετία 1980-2000, όπου προτεραιότητα δόθηκε στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και στη διατήρηση χαμηλών τιμολογίων. Ωστόσο είναι γεγονός, ότι η απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προχωράει με αργά αλλά σταθερά βήματα. Οι νόμοι επιτρέπουν πλέον να δραστηριοποιηθούν στην αγορά ανεξάρτητοι παραγωγοί και προμηθευτές εκτός από τη ΔΕΗ Α.Ε. και διασφαλίζουν την πρόσβαση των Χρηστών στο Σύστημα Μεταφοράς και Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς διακρίσεις. Έτσι, καθώς δραστηριοποιούνται στην Εμπορία & Προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας αρκετές εταιρείες, ήδη κάποιοι καταναλωτές έχουν αρχίσει να προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια από άλλον Προμηθευτή πέραν της ΔΕΗ ΑΕ. Παράλληλα ορισμένες βιομηχανίες εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια για ίδια κατανάλωση.

Το 2011, η λιανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από την αύξηση στην καταγραφή ποσοστών αλλαγής εκπροσώπησης ανά κατηγορία πελατών (supplier switching). Ειδικά στην κατηγορία των εμπορικών και βιομηχανικών πελατών της ΧΤ και ΜΤ το 12,3% και το 11,5% (ανά όγκο κατανάλωσης) των αντίστοιχων πελατών είχε αλλάξει προμηθευτή μέχρι το τέλος του 2011. Το μερίδιο αγοράς της ΔΕΗ Α.Ε. στο σύνολο της λιανικής αγοράς και όσον αφορά τον όγκο κατανάλωσης παρέμεινε ιδιαίτερα υψηλό και το

2011, αλλά αναπτύχθηκε κινητικότητα κυρίως προς 2 εναλλακτικούς προμηθευτές, γεγονός που υποδηλώνει και τη διάθεση των καταναλωτών για ανάπτυξη του ανταγωνισμού στο χώρο της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. [6]

2.5.6 Οι παράγοντες και τα ρυθμιστικά όργανα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Οι παράγοντες που σχετίζονται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας είναι οι εξής:

- Οι παραγωγοί: Ως παραγωγοί χαρακτηρίζονται όλοι όσοι κατέχουν άδεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία τους χορηγείται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) σύμφωνα με τους ισχύοντες νόμους για αδειοδότηση ιδιωτών.
- Οι προμηθευτές: Στην κατηγορία των προμηθευτών ανήκουν οι έμποροι, οι ιδιώτες και η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), οι οποίοι προμηθεύουν με ενέργεια τους επιλεγέντες πελάτες του Συστήματος έπειτα από σύναψη εμπορικών συμβολαίων. Στην περίπτωση των μη επιλεγέντων πελατών, το ρόλο του προμηθευτή τον αναλαμβάνει αποκλειστικά η ΔΕΗ.
- Οι καταναλωτές: Ως καταναλωτές χαρακτηρίζονται όλοι αυτοί που καταναλώνουν την ηλεκτρική ενέργεια.
- Οι επιλεγέντες πελάτες: Είναι οι πελάτες οι οποίοι επιλέγουν να προμηθεύονται ενέργεια μέσω του Συστήματος Συναλλαγών Ενέργειας προς ιδιωτική και αποκλειστική χρήση (Αυτοπρομηθευόμενοι Πελάτες).

Από την άλλη, τα θεσμικά όργανα, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας στην Ελλάδα είναι τα ακόλουθα:

♦ Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ):

Η ΡΑΕ συγκροτήθηκε τον Ιούλιο του 2000 και αποτελεί ανεξάρτητη διοικητική αρχή, στην οποία έχει ανατεθεί η παρακολούθηση της αγοράς ενέργειας, όπως αυτή αναπτύσσεται - τόσο μονοσήμαντα στην Ελληνική αγορά - όσο και όπως αυτή λειτουργεί και αναπτύσσεται σε σχέση με τις ξένες αγορές ενέργειας, και ιδίως με αυτές με τις οποίες διασυνδέεται.

Η ΡΑΕ συστήθηκε με το ν. 2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις οδηγίες 2003/54/EK και 2003/55/EK για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο.

Αρχικά, η ΡΑΕ είχε κυρίως γνωμοδοτικές αρμοδιότητες, πλην όμως, σε συμμόρφωση με τις κοινοτικές επιταγές και τις ανάγκες της ενεργειακής αγοράς, με σειρά άλλων νομοθετικών διατάξεων, της δόθηκαν πλείονες αποφασιστικές αρμοδιότητες.

Θεμελιώδεις στόχοι που τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και η ελληνική νομοθεσία επιδίωξαν να καλύψουν είναι: η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της Χώρας, η προστασία του περιβάλλοντος στο πλαίσιο και των διεθνών υποχρεώσεων της Χώρας, η ενίσχυση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας της εθνικής οικονομίας και η ισόρροπη περιφερειακή ανάπτυξη.

Ειδικότερα, η ΡΑΕ έχει γνωμοδοτική αρμοδιότητα στη χορήγηση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα και αποφασιστική αρμοδιότητα για τη χορήγηση αδειών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι υπεύθυνη να παρακολουθεί τη διασφάλιση πρόσβασης τρίτων στο δίκτυο της χώρας, τη λειτουργία του διασυνδεδετικού εμπορίου εισαγωγών και εξαγωγών, καθώς και για τον έλεγχο του ότι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας -όπως αυτή λειτουργεί μέσω του ηλεκτρονικού συστήματος που εκτελεί ο ΔΕΣΜΗΕ- λειτουργεί ομαλά. Στην ίδια βάση, γνωμοδοτεί για τη χορήγηση αδειών για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας, πάντα με πρώτο γνώμονα την προστασία του καταναλωτή. Στο πλαίσιο αυτό, παρακολουθεί την ανάπτυξη και τήρηση κανόνων υγιούς ανταγωνισμού και προστασίας του καταναλωτή και, σε συνεργασία με συναρμόδιους φορείς, δύναται να εκκινήσει διαδικασίες επιβολής κυρώσεων, όταν διαπιστώνεται ότι οι εν λόγω ειδικότερες διατάξεις παραβιάζονται.

Στον τομέα του φυσικού αερίου, η ΡΑΕ πέραν της παρακολούθησης της τήρησης των υγιών κανόνων ανταγωνισμού, γνωμοδοτεί - μεταξύ άλλων - για τη χορήγηση αδειών



προμήθειας, διαχείρισης και κυριότητας ανεξάρτητων συστημάτων φυσικού αερίου. Με πρόσφατες νομοθετικές ρυθμίσεις, η ΡΑΕ είναι αρμόδια και για τη διασύνδεση του ελληνικού συστήματος φυσικού αερίου με άλλες χώρες, καθώς και για τον τρόπο δυνατότητας ανάπτυξης αυτού, σε συνεργασία με τους αντίστοιχους ρυθμιστές.

Η παρακολούθηση της τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η αρμοδιότητα της ΡΑΕ είτε να θεσπίσει αρχές και κανόνες, είτε να γνωμοδοτήσει σχετικά, συνιστά μείζονος σημασίας αρμοδιότητα, η άσκηση της οποίας προϋποθέτει σφαιρική και βέβαιη αντίληψη των δεδομένων που επικρατούν στην αγορά. Στο ίδιο πλαίσιο, η αρμοδιότητα της ΡΑΕ για οριοθέτηση των ΥΚΩ (Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας) και Κοινωνικού Οικιακού Τιμολογίου (ΚΟΤ), για παρακολούθηση των τιμολογίων τόσο στον τομέα του ηλεκτρισμού όσο και του φυσικού αερίου, καθίσταται μείζονος σημασίας.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι με το νέο, γνωστό ως 3^ο ενεργειακό πακέτο, και ειδικότερα από το Μάρτιο του 2011, η ΡΑΕ έχει κυρίως αποφασιστικές αρμοδιότητες και σημαντικότερη συνεργασία με τους λοιπούς Ρυθμιστές και Διαχειριστές, καθώς επίσης έχει ενισχυθεί περαιτέρω η οικονομική και διοικητική της αυτοτέλεια. [6]

♦ Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ):

Η ΔΕΗ Α.Ε. που λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρεία από 1.1.2001, δραστηριοποιείται ως Παραγωγός και είναι ο κύριος Προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατέχει (στοιχεία 2013) περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Παράγοντας σχεδόν το 50% της ηλεκτρικής της παραγωγής από λιγνίτη, είναι ο 2^{ος} μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Προμηθεύει περίπου το 98% (στοιχεία 2013) της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, σύμφωνα με την πρόσφατη ελληνική νομοθεσία (ν. 4001/2011) παραμένει στην ιδιοκτησία της το δίκτυο διανομής συνολικού μήκους 217.000 χλμ. (στοιχεία 2009), ενώ η κυριότητα του εθνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μήκους 11.650 χλμ. μεταβιβάζεται στον ΑΔΜΗΕ Α.Ε..



Μετά την απόσχιση από τη ΔΕΗ Α.Ε. των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρείες της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). [6]

♦ Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.):

Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη της διαχείρισης, λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεών του, ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο. [17]



Πιο συγκεκριμένα, τα καθήκοντα που έχει να εκτελεί ο ΑΔΜΗΕ είναι τα ακόλουθα:

- Διασφάλιση ότι η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος.
- Παροχή πρόσβασης στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και στους Επιλέγοντες Πελάτες.
- Παροχή της δυνατότητας σύνδεσης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) με το ΕΣΜΗΕ, σύμφωνα με όσα καθορίζονται στον Κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κώδικας Διαχείρισης ΕΣΜΗΕ).

- Διαχείριση των ροών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα, συνεκτιμώντας τις ανταλλαγές με άλλα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς.
 - Μέριμνα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του Συστήματος, διασφαλίζοντας, μεταξύ άλλων, τη διαθεσιμότητα των αναγκαίων επικοινωνικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω διαχείρισης της ζήτησης, στο βαθμό που η διαθεσιμότητά τους δεν εξαρτάται από άλλο διασυνδεδεμένο Σύστημα μεταφοράς.
 - Παροχή στους Διαχειριστές άλλων Συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με τα οποία συνδέεται το Σύστημα, επαρκών πληροφοριών για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία, καθώς και τη συντονισμένη ανάπτυξη και τη διαλειτουργικότητα του Συστήματος και των παραπάνω συστημάτων και δικτύων.
 - Παροχή στους Χρήστες του Συστήματος κάθε αναγκαίας πληροφορίας για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής πρόσβασής τους στο Σύστημα.
 - Παροχή των πάσης φύσεως υπηρεσιών του, εφαρμόζοντας διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια, ώστε να αποτρέπεται κάθε διάκριση μεταξύ των Χρηστών ή των κατηγοριών Χρηστών του Συστήματος και ιδίως κάθε διάκριση υπέρ των συνδεδεμένων με αυτόν επιχειρήσεων.
 - Είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς.
 - Συμμετοχή σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον καταμερισμό και την εκχώρηση δικαιωμάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων διασυνδέσεων, καθώς και στη διαχείριση των δικαιωμάτων αυτών για λογαριασμό των ως άνω διαχειριστών και ιδίως στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E).
 - Εκπόνηση σε ετήσια βάση, κατόπιν διαβούλευσης με όλους τους υφιστάμενους και μελλοντικούς Χρήστες του ΕΣΜΗΕ, Δεκαετούς Προγράμματος Ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ.
 - Τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση του ΕΣΜΗΕ.
 - Δημοσίευση στην ιστοσελίδα του καταλόγου όλων των εγκεκριμένων από τη ΡΑΕ τιμολογίων με τα οποία χρεώνει τους Χρήστες του Συστήματος.
 - Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων.
 - Συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών και του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
 - Προσφορά συμβουλευτικών υπηρεσιών τεχνικής φύσεως σε θέματα της αρμοδιότητάς του σε διαχειριστές ή κυρίους συστημάτων μεταφοράς έναντι αμοιβής, καθώς και συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα, αλλά και σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε., εφόσον δεν παρακωλύεται η άρτια εκτέλεση των καθηκόντων του.
- ♦ Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.):
 Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα, καθώς και τη διασφάλιση της διαφανούς και αμερόληπτης πρόσβασης στο δίκτυο διανομής των καταναλωτών, των προμηθευτών και γενικότερα όλων των χρηστών του δικτύου. [18] Στους στόχους του ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. είναι η αξιόπιστη τροφοδοσία των καταναλωτών, η διατήρηση της ποιότητας της τάσης του ρεύματος και η διαρκής βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης των καταναλωτών.



Πιο συγκεκριμένα, οι εργασίες που εκτελούνται από τον ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. αφορούν:

- Την ικανοποίηση αιτημάτων των χρηστών:
 - Νέες συνδέσεις καταναλωτών και παραγωγών.
 - Τροποποίηση παλαιών παροχών (επαύξηση ισχύος υπαρχουσών συνδέσεων).
 - Μετατοπίσεις Δικτύων.
- Την ανάπτυξη του δικτύου:
 - Ενισχύσεις, βελτιώσεις και εκσυγχρονισμός του δικτύου.
 - Κατασκευή Κέντρων Διανομής και Γραμμών 150 kV.
- Τις εργασίες εκμετάλλευσης του δικτύου:
 - Λειτουργία του Δικτύου Διανομής.
 - Επιθεώρηση και Συντήρηση του δικτύου.
 - Αποκατάσταση βλαβών.
 - Εξυπηρέτηση των χρηστών δικτύου στα γραφεία.
 - Καταμέτρηση των καταναλώσεων.
- Την ομαλή και αποδοτική λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρισμού στο επίπεδο των δικτύων.
- Την αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία των αυτόνομων νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων.

♦ Ο Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ):

Ο ΛΑΓΗΕ ιδρύθηκε με βάση το ν. 4001/2011 για τη «Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» και ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούσαν από το ΔΕΣΜΗΕ, πλην εκείνων που κατά το άρθρο 99 του ν. 4001/2011 μεταφέρονται στον ΑΔΜΗΕ. [19]

Πιο συγκεκριμένα, ο ΛΑΓΗΕ εφαρμόζει τους κανόνες για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 4001/2011 και ασκεί, ιδίως, τις ακόλουθες αρμοδιότητες:



- Διενεργεί τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό, ως εξής:
 - Προγραμματίζει τις εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ, καθώς και τις απορροφήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό, αλλά και τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
 - Υπολογίζει την Οριακή Τιμή Συστήματος.
 - Εκκαθαρίζει τις συναλλαγές στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού.
- Συνεργάζεται με το Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.
- Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.
- Αποφεύγει κάθε διάκριση μεταξύ των Συμμετεχόντων στην Αγορά Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμόζει κατά την παροχή των υπηρεσιών του διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια.
- Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
- Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

- Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους Διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ. Για τη διενέργεια της διευθέτησης των χρηματικών συναλλαγών, ο Λειτουργός της Αγοράς δύναται:
 - Να συστήνει ή να συμμετέχει σε εταιρείες με εξειδικευμένο σκοπό την παροχή χρηματοοικονομικών υπηρεσιών.
 - Να αναθέτει σε τρίτους, μετά από σύμφωνη γνώμη της ΡΑΕ, την ως άνω διευθέτηση, ιδίως αναφορικά με τη διαχείριση και εκκαθάριση χρηματικών συναλλαγών και τη διαχείριση πιστωτικού και συναλλακτικού κινδύνου, στο πλαίσιο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του, ο Λειτουργός της Αγοράς διευκολύνει κατά κύριο λόγο την ολοκλήρωση της ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και για το σκοπό αυτόν αναλαμβάνει κάθε αναγκαία ενέργεια, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων που του ανατίθενται με το ν. 4001/2011, προκειμένου να διασφαλίζεται η εφαρμογή των προβλέψεων του Κανονισμού 714/2009, της Οδηγίας 72/2009 και όλων των σχετικών κατευθύνσεων και αποφάσεων που εκδίδονται από τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Κεφάλαιο 3

Χαρακτηριστικά και λειτουργία του σημερινού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

3.1 Ορισμός του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

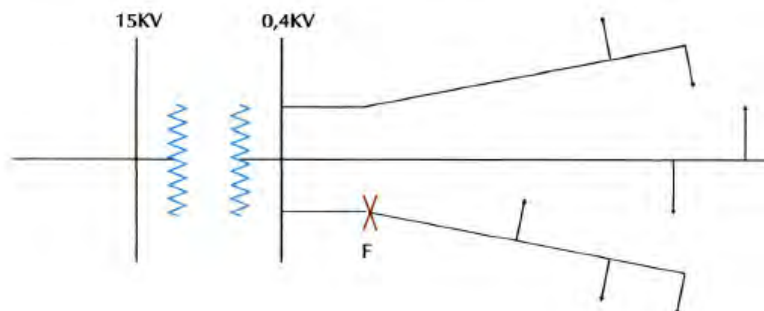
Δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται τα ηλεκτρικά συστήματα τα οποία χρησιμεύουν στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόπο της παραγωγής στον τόπο της κατανάλωσής της [20]. Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μία από τις σημαντικότερες εφευρέσεις του 20^{ου} αιώνα, μετά την επανάσταση που έφερε στη ζωή των ανθρώπων η ανακάλυψη του ηλεκτρισμού. Αποτελούν μία υποδομή πρωτεύουσας σημασίας, καθώς οι υπηρεσίες που προσφέρουν στους καταναλωτές βελτίωσαν δραστικά την ποιότητα ζωής του πληθυσμού παγκοσμίως.

3.2 Διάκριση των δικτύων

Σήμερα διακρίνουμε διάφορες κατηγορίες δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, που καθεμιά τους παρουσιάζει ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Έχουμε δίκτυα που ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο διάρθρωσης και ανάπτυξής τους σε ακτινωτά ή βροχοειδή. Άλλα που χαρακτηρίζονται από το μέσο από το οποίο διέρχονται, δηλαδή αν περνούν από τον αέρα, ή μέσα από το έδαφος, ή κάτω από το νερό. Μια άλλη ταξινόμηση των δικτύων βασίζεται στην τάση λειτουργίας τους, ενώ μια ακόμη, ως προς τη μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος. [20][21]

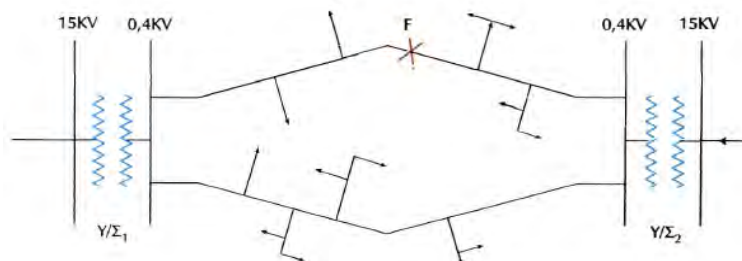
3.2.1 Ακτινωτά και Βροχοειδή Δίκτυα

Τα ακτινωτά δίκτυα, ή ανοιχτά όπως αλλιώς ονομάζονται, έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό ότι τροφοδοτούνται στα διάφορα σημεία τους από τη μία μόνο κατεύθυνση. Έτσι, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι φθηνά στην κατασκευή τους, αλλά παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι, αν παρουσιαστεί βλάβη σε ένα σημείο (σημείο F στο Διάγραμμα 3.1), τότε όλοι οι υπόλοιποι καταναλωτές που τροφοδοτούνται πέρα από αυτό το σημείο δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν με ηλεκτρική ισχύ μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη.



Διάγραμμα 3.1: Ακτινωτό Δίκτυο [22]

Το μειονέκτημα των ακτινωτών δικτύων λύνεται με τα βροχοειδή ή κλειστά δίκτυα, τα οποία χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα να τροφοδοτούνται σε κάθε σημείο τους από δύο τουλάχιστον κατευθύνσεις (Διάγραμμα 3.2). Με αυτόν τον τρόπο, οι καταναλωτές καθώς τροφοδοτούνται από δύο υποσταθμούς (Y/Σ_1 και Y/Σ_2), ακόμα και αν υπάρχει βλάβη σε ένα σημείο π.χ. διακοπή, βραχυκύκλωμα, κ.λπ. (σημείο F του Διαγράμματος 3.2), αυτό δεν θα έχει σαν αποτέλεσμα τη διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε κανένα άλλο σημείο και θα συνεχιστεί κανονικά η τροφοδότηση των καταναλωτών. Επίσης, ένα άλλο πλεονέκτημα των βροχοειδών δικτύων είναι ότι μειώνεται το πρόβλημα της πτώσης της τάσης λόγω των πολλών παροχών.



Διάγραμμα 3.2: Βροχοειδές Δίκτυο [22]

Στην αρχή τα δίκτυα είχαν σχεδιαστεί σαν ακτινωτά. Με την επέκταση του εξηλεκτρισμού έγινε προσπάθεια για την ανάπτυξη των δικτύων σε κλειστή μορφή, χάρη στα προφανή πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν στην εξυπηρέτηση των καταναλωτών. Τα ανοιχτά δίκτυα είναι, όμως, πιο απλά και πιο οικονομικά.

Σήμερα, όταν έχουμε πολλά και πυκνά φορτία, όπως στις πόλεις, αναπτύσσουμε τα δίκτυα στη βροχοειδή μορφή χωρίς να έχουμε μεγάλη οικονομική επιβάρυνση. Η τροφοδότηση απομονωμένων καταναλωτών γίνεται από ανοιχτά δίκτυα, όπως είναι οι αγροτικές περιοχές και τα μικρά νησιά τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα με το εθνικό δίκτυο.[21][22]

3.2.2 Εναέρια - Υπόγεια - Υποβρύχια Δίκτυα

Τα εναέρια δίκτυα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μορφή δικτύου. Χρησιμοποιούνται τόσο ως δίκτυα μεταφοράς όσο και ως δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι λόγοι που τα επιβάλλουν είναι το μικρότερο κόστος τους, που συνδέεται με το γεγονός ότι δεν χρειάζονται μόνωση σε όλο το μήκος τους αλλά μόνο στα σημεία που αναρτώνται απ' τις κολώνες, η ευκολία στην κατασκευή, την επιθεώρηση και τη συντήρησή τους.

Τα υπόγεια δίκτυα κατασκευάζονται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, λόγω του υψηλού τους κόστους που είναι πολλαπλάσιο απ' αυτό των εναερίων. Η προτίμηση για αυτή τη μορφή δικτύου γίνεται είτε για λόγους ασφάλειας, είτε για λόγους καλαισθητικούς. Για παράδειγμα, μέσα σε μία πόλη είναι συχνά δύσκολο να κατασκευαστεί ένα δίκτυο μέσης τάσης (ή και υψηλής) που να τηρεί τα όρια ασφαλείας από τα κτίρια και να μην κινδυνεύει από βραχυκύκλωμα. Ακόμη, τα δίκτυα αυτά καταπονούνται λιγότερο, με αποτέλεσμα να παθαίνουν με μικρότερη συχνότητα βλάβες, και δεν κινδυνεύουν από κεραυνούς. Επίσης, επειδή περνούν μέσα από το έδαφος δεν αλλοιώνουν την όψη του τοπίου και την όψη των κτιρίων.

Τα υποβρύχια δίκτυα κατασκευάζονται μόνο στις περιπτώσεις που δεν είναι προσιτός ή πιο συμφέρον άλλος δρόμος για τη σύνδεση κάποιων καταναλωτών. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη σύνδεση σχετικά κοντινών νησιών μεταξύ τους ή με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα. Πρέπει να έχουν ειδική εξωτερική μόνωση, με αποτέλεσμα να έχουν αυξημένο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης. [21]

3.2.3 Δίκτυα Υπερυψηλής - Υψηλής - Μέσης και Χαμηλής Τάσης

Η ταξινόμηση των δικτύων, στην περίπτωση αυτή, γίνεται ανάλογα με τη διαβάθμιση της τάσης λειτουργίας τους. Η επιλογή της κατάλληλης τάσης κάθε τμήματος ενός δικτύου εξαρτάται, κυρίως, από την ποσότητα της ηλεκτρικής ισχύος, που πρόκειται να μεταφέρει, καθώς και από την απόσταση.

Έτσι, διακρίνουμε [21]:

- Δίκτυα υπερυψηλής τάσης, όταν η πολική τάση είναι μεγαλύτερη από 300 kV.
- Δίκτυα υψηλής τάσης, για πολική τάση λειτουργίας από 60 kV μέχρι 300 kV.
- Δίκτυα μέσης τάσης, όπου η πολική τάση κυμαίνεται από 1 kV μέχρι 60 kV.
- Δίκτυα χαμηλής τάσης, όπου η πολική τάση δεν ξεπερνά το 1 kV.

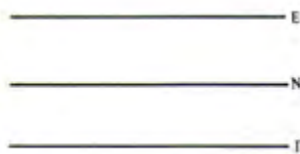
3.2.4 Δίκτυα Συνεχούς και Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Ως προς τη μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος τα δίκτυα διακρίνονται [20]:

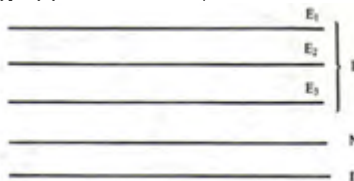
- σε δίκτυα συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.), και
- σε δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Ρ.).

Τα περισσότερα διαδεδομένα είναι σήμερα τα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα δίκτυα Ε.Ρ. διακρίνονται ως προς την τάση λειτουργίας τους:

- σε μονοφασικά, τα οποία έχουν ένα μόνο ενεργό αγωγό Ε και τον ουδέτερο αγωγό Ν (Διάγραμμα 3.3), και
- σε τριφασικά, τα οποία έχουν τρεις ενεργούς αγωγούς Ε και τον ουδέτερο αγωγό Ν (Διάγραμμα 3.4).



Διάγραμμα 3.3: Μονοφασικό Δίκτυο [20]

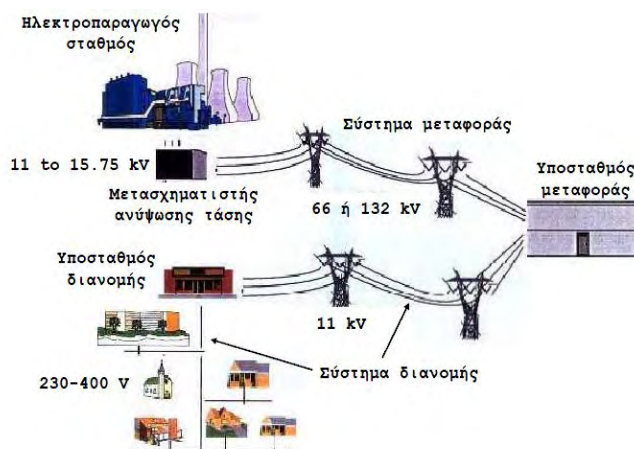


Διάγραμμα 3.4: Τριφασικό Δίκτυο [20]

3.3 Η λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να φέρει εις πέρας την αποστολή του απαρτίζεται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα (δίκτυα) [23]:

- Σύστημα παραγωγής.
- Σύστημα μεταφοράς.
- Σύστημα υπομεταφοράς.
- Σύστημα διανομής.

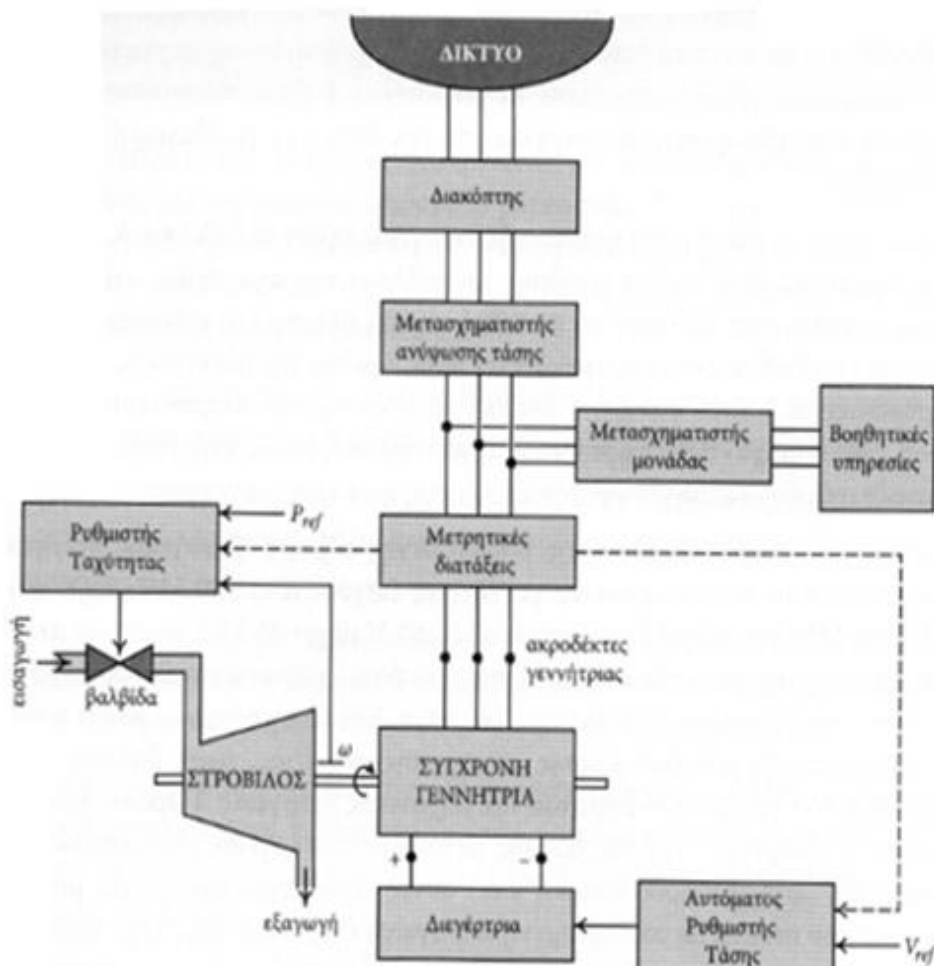


Εικόνα 3.1: Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

3.3.1 Σύστημα παραγωγής

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό υπερυψηλή (YYT) και υψηλή τάση (YT).

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι σταθμοί παραγωγής, ανάλογα με την πηγή πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε ατμοηλεκτρικούς (ΑΗΣ), υδροηλεκτρικούς (ΥΗΣ) και πυρηνικούς (ΠΣ). Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο (κάρβουνο, λιγνίτη, φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Με την καύση του καυσίμου απελευθερώνεται θερμική ενέργεια, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού στο λέβητα. Ο ατμός διοχετεύεται στον αμοστρόβιλο όπου παρέχει μέρος της ενέργειάς του σε μηχανική μορφή. Ο στρόβιλος με τη σειρά του περιστρέφει τη γεννήτρια όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η δυναμική ενέργεια των υδάτων. Στους πυρηνικούς σταθμούς ο ελεγχόμενος πυρηνικός αντιδραστήρας αντικαθιστά το συμβατικό λέβητα σαν πηγή θερμικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία της σχάσης χρησιμοποιείται για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας ατμού. Σε μικρότερες, βέβαια, ποσότητες είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο, τη γεωθερμία ή την ηλιακή ενέργεια.



Διάγραμμα 3.5: Σχηματικό διάγραμμα μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [23]

Η τυπική δομή μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται σχηματικά στο Διάγραμμα 3.5. Ο στρόβιλος είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστή που ελέγχει ή την ταχύτητα περιστροφής ή την ισχύ εξόδου σύμφωνα με κάποια προκαθορισμένη

χαρακτηριστική ισχύος-συχνότητας. Η παραγόμενη ισχύς παρέχεται στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Το συνεχές ρεύμα διέγερσης, που απαιτείται για να παραχθεί το μαγνητικό πεδίο εντός της γεννήτριας, παρέχεται από τη διεγέρτρια. Το ρεύμα διέγερσης, και συνεπώς η τερματική τάση της γεννήτριας, ελέγχονται από αυτόματο ρυθμιστή τάσης. Ο μετασχηματιστής μονάδας τροφοδοτεί τα βοηθητικά φορτία του σταθμού παραγωγής, όπως κινητήρες, αντλίες, φωτισμό, κ.λπ.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι η επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή καθορίζεται, κυρίως, από τεχνικοοικονομικούς παράγοντες. Έτσι, οι λιγνιτικοί σταθμοί κατασκευάζονται δίπλα στο πεδίο εξόρυξης, ενώ οι υδροηλεκτρικοί και οι αιολικοί σταθμοί, όπου υπάρχει εκμεταλλεύσιμο υδραυλικό ή αιολικό δυναμικό. Μεγαλύτερη ευελιξία υπάρχει στη χωροθέτηση των σταθμών φυσικού αερίου και πετρελαίου, καθώς τα καύσιμα αυτά έχουν μεγάλη θερμογόνο δύναμη και η μεταφορά τους δεν επιβαρύνει σημαντικά το κόστος παραγωγής. Επιπλέον, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της θέσης ενός θερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαθεσιμότητα του απαιτούμενου νερού για τη λειτουργία των κυκλωμάτων ψύξης. [3][23][24]

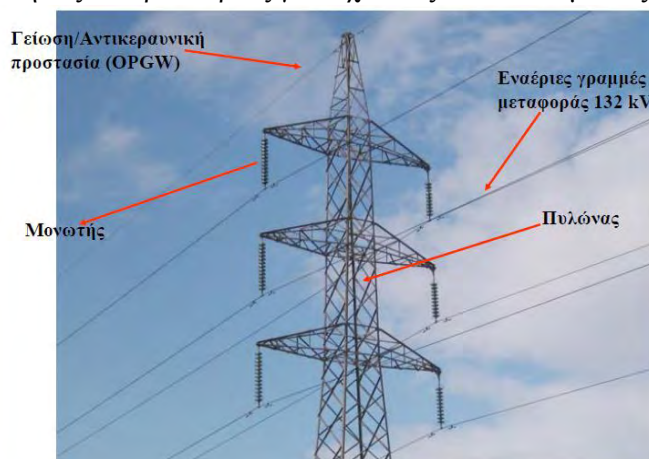
3.3.2 Σύστημα μεταφοράς

Το σύστημα μεταφοράς διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής, καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ισχύος προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής και υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς (Υ/Σ) ζεύξεως των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται.

Τα συστήματα μεταφοράς λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα, δηλαδή έχουν δυνατότητα αμφίδρομης ροής ενέργειας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά παραγωγής/ζήτησης τη δεδομένη χρονική στιγμή, ενώ μέσω των δικτύων μεταφοράς γίνονται οι διεθνείς διασυνδέσεις, είτε για λόγους εφεδρείας είτε για ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ χωρών, βάσει προσυμφωνημένων προγραμμάτων.

Οι τάσεις λειτουργίας τους κυμαίνονται συνήθως από 150kV (σπανιότερα από 66kV) έως 400kV (YT), ενώ σε ορισμένες χώρες φτάνουν μέχρι τα 800 με 900 kV (YYT). Είναι απαραίτητο, τα δίκτυα που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια να λειτουργούν με υψηλή τάση, πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη τάση από τις γεννήτριες. Ο βασικός λόγος είναι η μείωση του ρεύματος μεταφοράς, έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες μεταφοράς και η πτώση τάσης στις γραμμές μεταφοράς. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε και πιο οικονομικότερη λειτουργία.

Η επιλογή τάσης μεταφοράς γίνεται με τεχνικοοικονομικά κριτήρια και εξαρτάται από την καμπύλη του μεταφερόμενου φορτίου και από την απόσταση μεταφοράς. Τα δίκτυα μεταφοράς είναι συνήθως εναέρια κυρίως για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους.



Εικόνα 3.2: Γραμμές μεταφοράς

Τα όρια των δικτύων Μεταφοράς είναι:

- Οι Υ/Σ ανύψωσης των Σταθμών Παραγωγής, από τους οποίους εισρέει ενέργεια στο δίκτυο Μεταφοράς.
- Οι Υ/Σ υποβιβασμού της τάσης, στη στάθμη τάσης των δικτύων Υπομεταφοράς ή των δικτύων Διανομής ΜΤ, από τους οποίους εκρέει ενέργεια από τα δίκτυα Μεταφοράς.
- Οι Υ/Σ ηλεκτροδότησης λίγων μεγάλων καταναλωτών, από τους οποίους επίσης εκρέει ενέργεια.
- Τα σημεία των διεθνών διασυνδέσεων.

Το σύστημα προστασίας των δικτύων Μεταφοράς πρέπει να είναι πολύ υψηλών επιδόσεων, δεδομένου ότι σφάλματα στα δίκτυα αυτά μπορούν να προκαλέσουν πολύωρες διακοπές ηλεκτροδότησης σε εκατοντάδες, χιλιάδες ή και εκατομμύρια καταναλωτές. Επειδή λειτουργούν, συνήθως, σε εθνικό επίπεδο (διασυνδεδεμένο δίκτυο Μεταφοράς), η παρακολούθηση και ο έλεγχος της λειτουργίας τους καθώς και η προστασία τους αναλαμβάνεται από ένα Κέντρο Ελέγχου. [3][23][24]

3.3.3 Σύστημα υπομεταφοράς

Το σύστημα υπομεταφοράς διανέμει ηλεκτρική ενέργεια σε έναν αριθμό υποσταθμών διανομής που βρίσκονται σε κάποια γεωγραφική περιοχή, σε ένα επίπεδο τάσης που τυπικά κυμαίνεται από 25kV έως 250kV. Κατά κανόνα, τα συστήματα υπομεταφοράς λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα και οι γραμμές υπομεταφοράς συνήθως είναι εναέριες. Το σύστημα υπομεταφοράς δέχεται την ενέργεια είτε κατευθείαν από σταθμούς παραγωγής είτε από το σύστημα μεταφοράς μέσω υποσταθμών (ζεύξεως ή/και μετασχηματισμού). Μεγάλοι καταναλωτές είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν κατευθείαν από το σύστημα υπομεταφοράς.

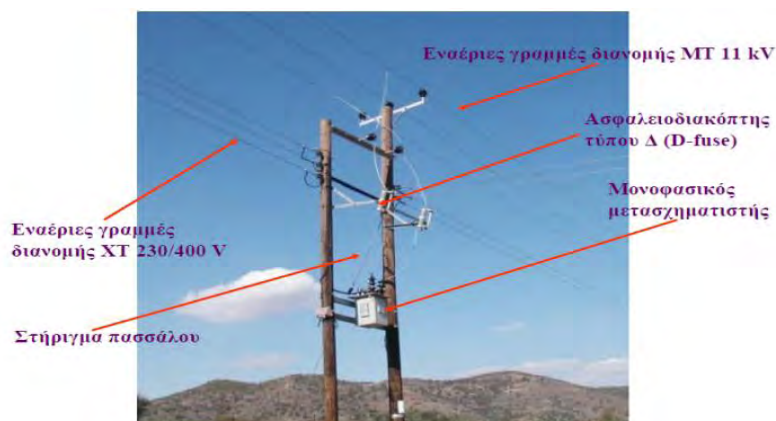
Ο ρόλος ενός συστήματος υπομεταφοράς είναι κυρίως ο ίδιος με εκείνον ενός συστήματος διανομής, με μοναδική διαφορά ότι αυτό εξυπηρετεί μία μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή και διανέμει ενέργεια σε μεγαλύτερα επίπεδα τάσης και ισχύος.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος υπομεταφοράς είναι οι περισσότερες γραμμές μεταφοράς, το μικρότερο μήκος αυτών και η μικρότερη ισχύς που διακινούν.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλά συστήματα δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ των δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς. Όσο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλαιότερες γραμμές μεταφοράς υποβιβάζονται σε λειτουργία υπομεταφοράς. Έτσι, τα δίκτυα υπομεταφοράς του σήμερα είναι κατά κανόνα τα δίκτυα μεταφοράς του χθες, τα οποία λόγω της αύξησης της διάστασης του συστήματος καλούνται να επιτελέσουν πλέον ένα ρόλο διαφορετικό από εκείνον που επιτελούσαν μέχρι τώρα. [23]

3.3.4 Σύστημα διανομής

Το σύστημα διανομής αποτελείται από το σύνολο των εναέριων γραμμών και υπόγειων καλωδίων, καθώς και των υποσταθμών διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση.

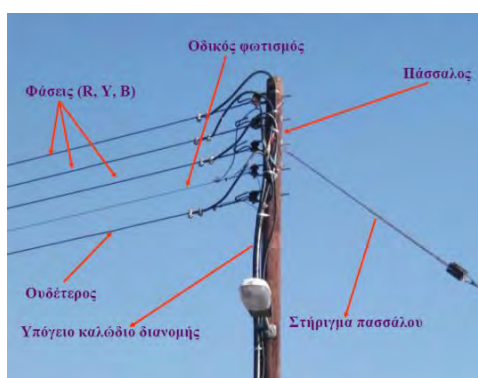


Εικόνα 3.3: Δίκτυο διανομής

Η έκταση του συστήματος διανομής είναι πολλαπλάσια του αντίστοιχου της μεταφοράς, ενώ οι τάσεις λειτουργίας του χωρίζονται σε δύο επίπεδα, τη μέση τάση (MT) και τη χαμηλή τάση (XT). Πιο συγκεκριμένα, το δίκτυο διανομής περιλαμβάνει:

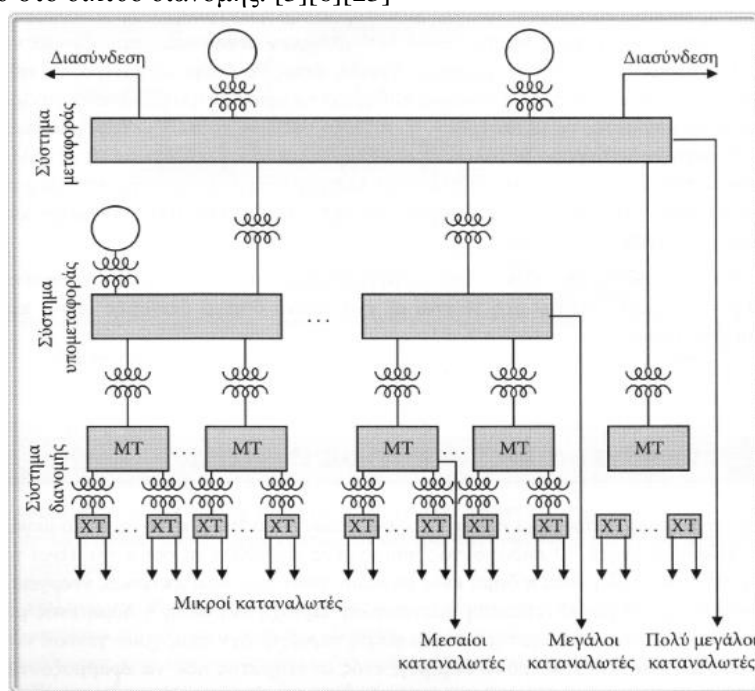
- το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής, και
- το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει και τα φορτία, δηλαδή τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά μπορεί να είναι οικιακοί και μικροί βιοτεχνικοί καταναλωτές ή μεγαλύτεροι βιομηχανικοί πελάτες. Ανάλογα με την εγκαταστημένη ισχύ του καταναλωτή μεταβάλλεται η τάση και ο τρόπος της τροφοδοσίας του π.χ. μεμονωμένοι καταναλωτές ισχύος μέχρι 5,3kW τροφοδοτούνται με μονοφασική τροφοδότηση στα 230V. Καταναλωτές μικρής ισχύος π.χ. από 50kW έχουν τριφασική τροφοδότηση 0,4 kW, ενώ βιομηχανίες π.χ. από 100kW και πάνω συνδέονται στη MT, δηλαδή στα 15 kV ή 20 kV. Ένας μικρός αριθμός ηλεκτροβόρων βιομηχανικών καταναλωτών συνδέεται απευθείας στο δίκτυο μεταφοράς στα 150 kV.



Εικόνα 3.4: Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Τέλος, η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε μία τεχνολογία που καλύπτει ποικίλα και σημαντικά προβλήματα, όπως εγκατάσταση και συντήρηση εναέριων γραμμών και υπογείων καλωδίων, μετρητικές διατάξεις, διακόπτες, ασφάλειες, κ.λπ. Ένα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να έχει μέχρι και το ήμισυ του επενδυσμένου κεφαλαίου του στο δίκτυο διανομής. [3][6][23]



Διάγραμμα 3.6: Δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [23]

3.4 Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα

Η παραγωγή και η διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζεται με ένα σύνολο από διατάξεις, που αποτελούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε χώρα μπορούν να υπάρχουν πολλά ξεχωριστά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συνέβαινε παλαιότερα. Σήμερα, κάθε χώρα έχει προχωρήσει στην ενοποίηση, όσο αυτό είναι δυνατόν, των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που διαθέτει, σε ένα μοναδικό ενιαίο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Το ενιαίο αυτό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας, ονομάζεται *Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα*.

Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα εξυπηρετεί το σύνολο, σχεδόν, των καταναλωτών μιας χώρας. Μικρά ανεξάρτητα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να υπάρχουν και να λειτουργούν μόνο σε περιοχές, που η σύνδεσή τους με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα παρουσιάζει μεγάλες τεχνικές δυσκολίες ή υπερβολικά υψηλό κόστος. Τέτοιες περιοχές, για την Ελλάδα, αποτελούν τα απομακρυσμένα, από την ηπειρωτική χώρα, νησιά μας.

Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα αποτελείται από το σύνολο των γεννητριών των σταθμών παραγωγής, των δικτύων των γραμμών μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσης, των γραμμών διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, καθώς και των υποσταθμών ανύψωσης και υποβιβασμού της τάσης, που βρίσκονται σε ηλεκτρικά αγωγίμη επαφή μεταξύ τους, και που εξυπηρετούν το σύνολο, σχεδόν, των καταναλωτών μιας χώρας.

Σήμερα, με στόχο την καλύτερη εξυπηρέτηση και το χαμηλότερο κόστος, έχουμε φτάσει και στα επίπεδα της διασύνδεσης μεταξύ των δικτύων διαφορετικών χωρών. Έτσι, με την ανταλλαγή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών, πετυχαίνουμε βέλτιστες λύσεις για την κάλυψη των μέγιστων φορτίων στη ζήτηση της ενέργειας. [21]

3.4.1 Το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα στην Ελλάδα

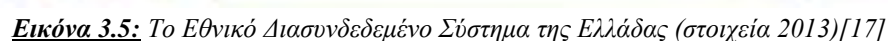
Στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα της Ελλάδας περιλαμβάνεται ολόκληρη η ηπειρωτική χώρα και ορισμένα νησιά (Εικόνα 3.5). Η ηλεκτροδότηση των μη διασυνδεδεμένων νησιών με το εθνικό σύστημα γίνεται από τους τοπικούς αυτόνομους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες πετρελαίου και από μονάδες ΑΠΕ. Λειτουργούν περίπου 29 τέτοιοι μικροί και μεγάλοι αυτόνομοι σταθμοί πετρελαίου για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια των μη διασυνδεδεμένων νησιών, εκτός βέβαια της Κρήτης και της Ρόδου που διαθέτουν περισσότερους του ενός κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, επίσης με πετρέλαιο [25]. Συνολικά, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά υπάρχουν εγκατεστημένες θερμικές μονάδες (πετρελαϊκές) συνολικής ισχύος 1.783 MW και ακόμη 287,32 MW αιολικών και 14,464 MW Φωτοβολταϊκών [26].

Τα κύρια χαρακτηριστικά του διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος της Ελλάδας κατά το έτος αναφοράς 2011 ήταν: Συνολική κατανάλωση περίπου 53 TWh με ετήσια αιχμή ζήτησης 10,1 GW και συμμετοχή των ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων των υδροηλεκτρικών) περίπου 13%. Η οικονομική ύφεση μετά το 2008 διέκοψε τη διαρκή αύξηση της ζήτησης κατά τα προηγούμενα έτη, η οποία πλέον βαίνει συνεχώς μειούμενη και κατά το 2012 διαμορφώθηκε στα επίπεδα του 2004, κοντά στις 51 TWh. Αντίθετα, η μέση Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) αυξήθηκε σημαντικά το 2011, φθάνοντας σχεδόν τα 75 €/MWh.

Το σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει πολλές μη-ευέλικτες λιγνιτικές μονάδες (22 σταθμοί συνολικής ισχύος άνω των 5 GW), και περίπου 3,5 GW μονάδες φυσικού αερίου και πετρελαϊκές, ενώ πρόσφατα εντάχθηκαν νέες μονάδες συνδυασμένου κύκλου 1,3 GW. Στο σύστημα υπάρχουν, επίσης, αρκετοί μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με ταμιευτήρα, συνολικής ονομαστικής ισχύος περίπου 3 GW, συμπεριλαμβανομένων δύο αναστρέψιμων μονάδων αποθήκευσης ισχύος περίπου 700 MW. Η εγκατεστημένη ισχύς των λοιπών ΑΠΕ (κυρίως αιολικών, φωτοβολταϊκών και μικρών υδροηλεκτρικών) υπερβαίνει τα 3 GW. Το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ αυξάνεται διαρκώς, και το 2012 έφθασε στο 14,5% (8,3% από μεγάλα υδροηλεκτρικά και 6,2% από λοιπές τεχνολογίες).

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., η οποία κατέχει μέσω των θυγατρικών της εταιρειών ΑΔΜΗΕ Α.Ε. και ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε., τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, και είναι ο κύριος προμηθευτής για τους καταναλωτές. Περίπου 10 ιδιωτικές εταιρείες έχουν

Ο ΑΔΜΗΕ έχει ήδη εκδώσει όρους και έχει υπογράψει συμβόλαια σύνδεσης για αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος σχεδόν 5 GW. Το επενδυτικό περιβάλλον εξακολουθεί να είναι ελκυστικό, αλλά οι επενδύσεις καθυστερούν λόγω δυσκολιών χρηματοδότησης. [27]



Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς (στοιχεία 2012) αποτελείται από τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για τη χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στην περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας. Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV. [17]

	400kV	Σ.Π. (D.C.) 400kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	2.628	107	8.127	39	10.901
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ		160	140	15	315
ΥΠΟΓΕΙΕΣ	4		82	1	87
ΣΥΝΟΛΟ	2.632	267	8.349	55	11.303

Πίνακας 3.1: Γραμμές Μεταφοράς (km όχλησης - στοιχεία 2012)[17]

Το δίκτυο διανομής της χώρας αποτελείται (στοιχεία 2012) από 231.216 km γραμμές (108.746 km μέσης και 122.470 km χαμηλής τάσης), που εξυπηρετούν 7.365.544 πελάτες (10.422 MT & 7.355.122 XT) και η συνολική κατανάλωση των πελατών αγγίζει τα 45.672 GWH (11.134 στη MT & 34.538 στη XT). Επιπλέον, περιλαμβάνει:

- 157.652 υποσταθμούς Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ MT/XT),
- 949 km δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων 205 km στην Αττική και 744 km στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, και
- 225 υποσταθμούς Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ YT/MT), εκ των οποίων 19 κλειστού τύπου, κατανεμημένοι 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 26 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά. [18]

Ένα σημαντικό πρόβλημα στο σύστημα μεταφοράς αποτελεί η χωρική ανισοκατανομή παραγωγής και ζήτησης, με πολλές μονάδες παραγωγής να είναι εγκατεστημένες στο βόρειο τμήμα της χώρας (κυρίως στη Δυτική Μακεδονία), ενώ το μεγαλύτερο κέντρο κατανάλωσης βρίσκεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα. Οι περιοχές της Αττικής και της Πελοποννήσου είναι οι πιο κρίσιμες του Συστήματος από πλευράς ευστάθειας τάσεων. Επιπλέον, οι βασικές διεθνείς διασυνδέσεις βρίσκονται και αυτές στα βόρεια σύνορα (Αλβανία, Βουλγαρία και ΠΓΔΜ). Ως αποτέλεσμα, μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρονται μέσω της κεντρικής σύνδεσης Βορρά-Νότου, η οποία αποτελείται από έναν κεντρικό κορμό με τρεις γραμμές 400 kV. Επιπλέον, η πλειοψηφία των αδειοδοτημένων αιολικών πάρκων δεν έχουν το χαρακτήρα της αποκεντρωμένης παραγωγής, αλλά είναι μονάδες υψηλής ισχύος, με μέση δυναμικότητα περίπου 20 MW, και αρκετά εξ αυτών άνω των 25 MW. [27]

Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό θέμα το οποίο χρήζει άμεσης αντιμετώπισης είναι η διασύνδεση των μη διασυνδεδεμένων νησιών της Ελλάδας στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα της χώρας. Στο διασυνδεδεμένο σύστημα υπάρχει υψηλή αξιοπιστία στην παραγωγή λόγω μεγάλης επάρκειας εγκατεστημένης ισχύος και μεγάλου αριθμού σταθμών παραγωγής, τις διεθνείς διασυνδέσεις και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά που εισέρχονται πλήρως στο σύστημα σε διάστημα μερικών λεπτών, ενώ λειτουργεί και η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για χαμηλές τιμές. Τα ηλεκτρικά δίκτυα προσφέρουν εναλλακτικούς δρόμους σε περίπτωση βλαβών, τόσο στα αστικά κέντρα όσο και στην περιφέρεια, οπότε κατά κανόνα, η τυχόν διακοπή ηλεκτροδότησης μπορεί να περιορίζεται σε μικρές περιοχές και για λίγο χρόνο.

Αντίθετα, τα προβλήματα ηλεκτροδότησης των μη διασυνδεδεμένων νησιών επικεντρώνονται κυρίως στην αξιοπιστία σταθμού και μονάδων του μοναδικού αυτόνομου σταθμού με το υψηλό κόστος παραγωγής από πετρέλαιο και κατά δεύτερο λόγο στο δίκτυο. Συνήθως, η εγκατεστημένη ισχύς διατηρώντας και την αναγκαία εφεδρεία καλύπτει την αναμενόμενη μέγιστη ζήτηση το καλοκαίρι, η οποία κορυφώνεται το δεκαπενταύγουστο για λίγες ώρες το χρόνο. Σε περιπτώσεις ανωμαλιών, που μπορεί να είναι σε μια μονάδα ή και περισσότερες φθάνοντας στο σύνολο του σταθμού, οι επιλογές και οι λύσεις στην παραγωγή είναι πολύ περιορισμένες οδηγώντας ακόμη και σε γενικό blackout, οπότε θα απαιτηθεί η εφαρμογή Σχεδίων Εκτάκτου Ανάγκης, με ό,τι αυτό συνεπάγεται. Σε πολλές περιπτώσεις η κατάλληλη διαχείριση των φορτίων του δικτύου διανομής με επιλεκτικές διακοπές μπορεί να αποτρέψει το γενικό blackout δίνοντας χρόνο για την πλήρη επαναφορά της ηλεκτροδότησης. Τεχνικές αυτόματης απόρριψης επιλεγμένων φορτίων (load shedding) με κριτήρια οικονομικά και κοινωνικά για περιορισμό των επιπτώσεων μπορούν να εφαρμοσθούν για την αποφυγή αστάθειας στο σύστημα, που θα οδηγούσε σε γενικό blackout. Υπάρχουν βέβαια και φυσικά φαινόμενα (π.χ. σεισμός) που μπορούν να οδηγήσουν σε γενικό blackout, οπότε εφαρμόζονται οι οδηγίες απαραίτητων ελέγχων, καθώς και ταχείας και ομαλής αποκατάστασης της ηλεκτροδότησης.

Παλαιότερα για τη θερινή περίοδο ενοικιάζονταν από ιδιώτες κινητές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στα νησιά για την αντιμετώπιση ανωμαλιών μονάδων ή και αυξημένης ζήτησης, λαμβάνοντας υπόψη τις σοβαρές επιπτώσεις μιας διακοπής ηλεκτροδότησης κατά την υψηλή τουριστική περίοδο. Κατά την υπόλοιπη περίοδο του έτους, η ζήτηση είναι χαμηλή και συνήθως δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα. Γενικά, ο ετήσιος συντελεστής φορτίου του αυτόνομου σταθμού στα νησιά είναι πολύ χαμηλός λόγω της μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος για την αντιμετώπιση της υψηλής ζήτησης για λίγες ώρες το καλοκαίρι. Αυτό, σε συνδυασμό με τη χρήση πετρελαίου και τη δυσμενή οικονομία κλίμακας οδηγεί σε υψηλό κόστος παραγωγής, ενώ επιπλέον πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και οι εκπομπές CO₂.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά αντιπροσωπεύει το 10% της συνολικής κατανάλωσης της χώρας και βασίζεται στο πετρέλαιο, πλην ενός μικρού ποσοστού που συμβάλλει η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Αυτό το όχι αμελητέο ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας με το υψηλό κόστος παραγωγής επιβαρύνει τον ηλεκτρικό τομέα και όλους τους καταναλωτές με τις αποκλειθείσες ΥΚΩ (Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας) που ξεπερνά τα 700 εκατ. ευρώ το χρόνο (στοιχεία 2010). [25] Έτσι, ενώ η ποιότητα της ηλεκτροδότησης των μη διασυνδεδεμένων νησιών μας είναι από μέτρια έως κακή, το κόστος που πληρώνουν, μέσω των λογαριασμών, όλοι οι καταναλωτές που μένουν σ' αυτά τα νησιά, είναι τεράστιο. Για παράδειγμα, το 2011 το κόστος για την ηλεκτροδότηση των νησιών ανήλθε σε 679.111.732 ευρώ για 5.545.493 MWh. Δηλαδή, το κόστος παραγωγής ήταν 122,46 ευρώ η μεγαβατώρα, όταν το μέσο κόστος ηλεκτροπαραγωγής σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΗ –για το διασυνδεδεμένο σύστημα– είναι στα 71,33€/MWh. [26]

Έτσι, η ηλεκτροδότηση των νησιών τόσο από πλευράς αξιοπιστίας όσο και κόστους αποτελεί την «αχίλλειο πτέρνα» του ηλεκτρικού τομέα της χώρας με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις και χρειάζεται άμεση αντιμετώπιση.

Η διασύνδεση των νησιών με το εθνικό σύστημα στοχεύοντας στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και στην απαγκίστρωση από τους σταθμούς πετρελαίου και του αντίστοιχου κόστους αποτελεί έργο πρώτης προτεραιότητας, αρχίζοντας από τα μεγάλα νησιά. [25]

Τέλος, ένα σημαντικό θέμα είναι ότι η Ελλάδα αν και βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό άκρο της ευρωπαϊκής ηπείρου, δεν έχει όμως φυσικές διασυνδέσεις με την κεντρική Ευρώπη, και το ηλεκτρικό της δίκτυο παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά ενός μεγάλου απομονωμένου συστήματος. Οι διασυνδέσεις με τις γειτονικές χώρες έχουν σχεδιαστεί ώστε να καλύπτουν ετησίως άνω του 7% των αναγκών, κυρίως από την περίσσεια ενέργειας του βουλγαρικού και ρουμανικού συστήματος παραγωγής. Ως εκ τούτου, παρόλο που η Ελλάδα είναι μέλος της UCTE (Ενωση για τον Συντονισμό της Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) και από το 2004

το ελληνικό σύστημα μεταφοράς είναι συγχρονισμένο με το ευρωπαϊκό, οι δυνατότητες μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από και προς την κεντρική Ευρώπη εξαρτώνται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά του δικτύου της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων. Ωστόσο, το τελευταίο δεν είναι ακόμη αρκετά ισχυρό και αξιόπιστο, επομένως οι δυνατότητες ανταλλαγής ενέργειας στην περιοχή είναι περιορισμένες. [27]

3.5 Τα προβλήματα του σημερινού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Το ηλεκτρικό δίκτυο, παρόλο που αποτελεί το μεγαλύτερο διασυνδεδεμένο σύστημα παγκοσμίως, είναι αρκετά παλιό σε όλες τις χώρες, καθώς η εγκατάστασή του ξεκίνησε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Μάλιστα, στις περισσότερες χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, ελάχιστες βελτιώσεις ή μεταβολές έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Συνεπώς, το ηλεκτρικό δίκτυο είναι πεπαλαιωμένο και δεν έχει εναρμονιστεί με τις ταχύτατες τεχνολογικές εξελίξεις που έχουν συντελεστεί σε άλλους τομείς. Αν αναλογιστεί κανείς την μεγάλη ανάπτυξη που παρουσιάζεται στο κλάδο της πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT), η βιομηχανία ΗΕ δεν έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτές τις καινοτομίες, αλλά και να τις ενσωματώσει στην υποδομή της.

Έτσι, παρά την καθοριστική συμβολή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στην βελτίωση του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις, ο αριθμός των οποίων αυξάνεται με την πάροδο των χρόνων, οι οποίες χρήζουν αντιμετώπισης:

α) Διακοπές ρεύματος (black-out):

Η διακοπή ρεύματος ή αλλιώς blackout αναφέρεται στην διακοπή της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος σε μία περιοχή. Η διακοπή αυτή του ρεύματος μπορεί να είναι μία βραχεία/στιγμιαία διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος ή μπορεί να είναι μία μακράς διάρκειας διακοπή της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο δεν διαθέτει μηχανισμούς άμεσης επαναφοράς του συστήματος από ξαφνικές διακοπές ρεύματος. Έτσι, για την αποκατάσταση των βλαβών απαιτείται αρχικά ο εντοπισμός τους από το προσωπικό της επιχείρησης, ώστε να χρησιμοποιηθεί κάποια εναλλακτική διαδρομή, και στη συνέχεια θα πρέπει να επιτευχθεί μία προσωρινή παροχή ρεύματος μέχρι να επιδιορθωθεί η βλάβη. Λόγω της έλλειψης μεθόδων άμεσου εντοπισμού της βλάβης, μια διακοπή ενδέχεται να διαρκέσει αρκετά λεπτά της ώρας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να αυξάνεται η ζημία για τις επιχειρήσεις και τους οικιακούς καταναλωτές, αλλά και για την επιχείρηση ηλεκτρισμού.

Στις αναπτυγμένες χώρες, διακοπές ρεύματος λαμβάνουν χώρα για λιγότερο από 0,5% του ετήσιου χρόνου λειτουργίας. Εντούτοις, αποτελούν σημαντικότατο πρόβλημα το οποίο επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό την κοινωνία και την οικονομία. Ενδεικτικά, η οικονομική επιβάρυνση λόγω των διακοπών ρεύματος στις Η.Π.Α. εκτιμάται περίπου στα 135 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (περίπου 0,9% του ΑΕΠ της χώρας) [28]. Επομένως, γίνεται αντιληπτή η σημασία της μείωσης της ετήσιας διάρκειας διακοπής ρεύματος σε μία χώρα και η σημαντική επίπτωσή της στην οικονομία.

β) Ανησυχία για την ασφάλεια:

Στη σύγχρονη εποχή, ο ηλεκτρισμός αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για την κάλυψη οποιασδήποτε ανάγκης όπως διατροφής, ύδρευσης, στέγασης, επικοινωνίας, απασχόλησης και ιατρικής περίθαλψης. Οι ανάγκες αυτές εξυπηρετούνται από υποδομές για συντήρηση τροφίμων, επεξεργασία ύδατος, παροχής θερμότητας και υπηρεσιών (π.χ. τηλεφωνική υπηρεσία, Διαδίκτυο) σε νοσοκομεία, γραφεία και εργοστάσια. Ωστόσο, όλα αυτά τα αγαθά μπορούν να υποβαθμιστούν ή να εξαφανιστούν όταν διακοπεί η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, η διακοπή της παροχής ηλεκτρισμού προκαλεί σοβαρά προβλήματα σε διάφορα επίπεδα λειτουργίας ενός κράτους. Συγκεκριμένα επηρεάζονται οι ακόλουθοι τομείς:

- Εθνική ασφάλεια: Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα στον τομέα της εθνικής ασφάλειας. Οι τηλεπικοινωνίες, οι τραπεζικές συναλλαγές, οι μεταφορές και η ύδρευση επηρεάζονται δραστηρικά. Αν συμβεί μία διακοπή μικρής διάρκειας στην εναέρια κυκλοφορία ή στην ύδρευση δεν μπορεί να επεκταθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να απειλήσει το σύνολο του πληθυσμού. Αντιθέτως, ένα σφάλμα σε κάποιο στοιχείο του ηλεκτρικού δικτύου (π.χ. βραχυκύκλωμα) μπορεί να επεκταθεί σε όλη την

έκταση του δικτύου και να προκαλέσει μεγάλης διάρκειας διακοπή της παροχής ενέργειας απειλώντας την εθνική ασφάλεια. Οι ανησυχίες σχετικά με τις πολιτικές εθνικής ασφάλειας και η ανάγκη να θωρακιστεί το ηλεκτρικό δίκτυο έναντι τρομοκρατικών επιθέσεων και ακραίων καιρικών φαινομένων επηρεάζουν αρκετά τα υφιστάμενα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η κεντρικά ελεγχόμενη παραγωγή και μεταφορά αποτελούν το τρωτό σημείο του ηλεκτρικού δικτύου. Ένας μικρός αριθμός από πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής είναι εγγενώς περισσότερο ευάλωτος από ένα μεγάλο αριθμό μικρότερων. Δεν υπάρχουν τεχνικές για τον εντοπισμό περιστατικών, ταχεία αποκατάσταση συστημάτων μετά από διακοπές και εφεδρικοί μηχανισμοί για την παροχή υπηρεσιών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, δεν υπάρχει σαφής καθοδήγηση για τον καθορισμό των ευθυνών. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να διευκρινίζονται οι ρόλοι των ηλεκτρικών εταιρειών, των ρυθμιστικών φορέων, των πελατών και της πολιτείας για την αντιμετώπιση οποιασδήποτε απειλής.

- Υγεία και δημόσια ασφάλεια: Κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρικής διακοπής, ανελκυστήρες μπορεί να σταματήσουν μεταξύ ορόφων, η κυκλοφορία στους δρόμους μπορεί να διακοπεί ή οι υπόγειες διαβάσεις να μείνουν στο σκοτάδι. Μολονότι συνήθως υπάρχουν εφεδρικοί μηχανισμοί για την αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων, δεν είναι εξασφαλισμένο ότι θα λειτουργήσουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το blackout που συνέβη στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 2003[29][30]. Αν και υπήρχαν γεννήτριες έκτακτης ανάγκης, 4 από τα 75 νοσοκομεία έμειναν προσωρινά χωρίς ρεύμα. Ο μεγάλος αριθμός των ασθενών που χρειάστηκαν βοήθεια λόγω της συσκότισης προκάλεσε ένταση στις επείγουσες ιατρικές υπηρεσίες. Το νοσοκομείο είχε να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα την αποτυχία των πολλαπλών έκτακτων περιστατικών, την ανησυχία των ασθενών, την αλλοίωση τροφίμων και φαρμάκων, ιδιαίτερα εμβολίων λόγω απώλειας της ψύξης, την αποτυχία και βλάβη εξοπλισμού, καθώς και την αύξηση θερμοκρασίας που προκάλεσε επιπτώσεις στην υγεία ασθενών. Είναι φανερό ότι η διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και αν σημειωθεί για μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να απειλήσει τη δημόσια υγεία και ασφάλεια. Μάλιστα, επειδή η διακοπή αυτή αποτέλεσε τη μεγαλύτερη στην ιστορία των ΗΠΑ, έγινε λόγος για τρομοκρατική επίθεση, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της συγκεντρωτικής δομής του ηλεκτρικού δικτύου που είναι ευάλωτο σε τέτοιου είδους επίθεση. Επιπλέον, οι διάφορες συνιστώσες του δικτύου αλληλοεξαρτώνται με αποτέλεσμα ένα μικρό σφάλμα σε κεντρικό σημείο να μπορεί να επιφέρει σειρά προβλημάτων που ενδεχομένως θα παραλύσουν τράπεζες, κυκλοφορία, νοσοκομεία και συστήματα ασφαλείας.
- Ασφάλεια των πληροφοριών: Υπό την ευρύτερη έννοια η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, δηλαδή στον τομέα των πληροφοριών, καλύπτει όλα τα θέματα που αφορούν αυτοματοποιημένα συστήματα, επικοινωνία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργία των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, εργασίες πελατειακής βάσης και προστασία από επιθέσεις. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των πληροφοριών επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος. Για το λόγο αυτό, έχουν προκληθεί ανησυχίες τα τελευταία χρόνια σχετικά με την ασφάλεια που παρέχει. Η αποτελεσματική καταγραφή, επεξεργασία και διακίνηση δεδομένων αποτελεί ζωτικής σημασίας λειτουργία για την εξασφάλιση της ακεραιότητας του ηλεκτρικού δικτύου. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της διακοπής του 2003 στις ΗΠΑ, στην παράταση της διακοπής συνέβαλαν οι καθυστερήσεις στις επικοινωνίες και, συγκεκριμένα, στην αποστολή μηνυμάτων συναγερμού και απαντήσεων από τα κέντρα ελέγχου. Οι αποτυχίες στην περίπτωση αυτή προκλήθηκαν από ακούσια λάθη και λανθασμένο σχεδιασμό. Συνεπώς, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο έχει να αντιμετωπίσει αποτυχίες της πληροφοριακής υποδομής που οφείλονται σε λάθη χρηστών, παλαιωμένο εξοπλισμό ή φυσικές καταστροφές. Είναι σαφές ότι η σύγκλιση των υποδομών πληροφόρησης και επικοινωνίας με το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να χαρακτηρίζεται από ασφάλεια και εμπιστευτικότητα. Παράλληλα, παρουσιάζεται μια μεγάλη ευκαιρία για την ενίσχυση της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος που πρέπει να γίνει περισσότερο

ανθεκτικό στις επιθέσεις, στις αποτυχίες υλικού και εξοπλισμού, στα ανθρώπινα λάθη και στις φυσικές καταστροφές.

γ) Ανάγκη περιορισμού των κλοπών ρεύματος:

Ένα φαινόμενο έντονο σε ορισμένες χώρες είναι η κλοπή ηλεκτρικού ρεύματος [31]. Πέραν των κινδύνων για την ασφάλεια του πληθυσμού, η κλοπή ρεύματος αποτελεί και σημαντικό πλήγμα στα έσοδα των εταιρειών ηλεκτρισμού οι οποίες αυξάνουν την τιμή του ρεύματος για τους υπόλοιπους καταναλωτές. Η έκταση που λαμβάνει αυτό το φαινόμενο παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα. Παράλληλα, ζημιές λόγω ανεπαρκούς ελέγχου του δικτύου ΗΕ εμφανίζουν και οι εταιρείες διαχείρισης του δικτύου λόγω των φαινομένων κλοπής καλωδίων και μετασχηματισμών.

Το ηλεκτρικό δίκτυο με τη σημερινή του μορφή δεν παρέχει υπηρεσίες άμεσου ελέγχου. Ο έλεγχος του δικτύου γίνεται από κεντρικές εγκαταστάσεις και έτσι ελέγχονται διάφορες περιοχές από ένα συγκεκριμένο μέρος. Η καταπολέμηση των κρουσμάτων κλοπής ρεύματος είναι δύσκολη καθώς ο εντοπισμός και μόνο της παραβίασης απαιτεί σημαντικό χρονικό διάστημα. Επομένως, είναι δύσκολο να ελεγχθεί αποτελεσματικά το φαινόμενο αυτό αν δεν βελτιωθεί το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 3.6: Στύλος του ηλεκτρικού δικτύου σε επαρχία της Ινδίας

δ) Ανησυχία για τα ορυκτά καύσιμα:

Τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που μας εξυπηρετούν για δεκαετίες, στηρίζονται κατά βάση στα ορυκτά καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του πετρελαίου, του άνθρακα και του φυσικού αερίου ως πηγές ενέργειας. Το μίγμα των πρωτογενών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Ο άνθρακας συνεχίζει να είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ακολουθεί το φυσικό αέριο. Η αλματώδης, όμως, αύξηση της τιμής τους γεννά προβληματισμούς σχετικά με την ασφάλεια και οικονομικά ανεκτή παραγωγή και παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, με τους υφιστάμενους δείκτες κατανάλωσης, τα σημερινά γνωστά αποθέματα πυρηνικών καυσίμων σύμφωνα με τον Οργανισμό Πυρηνικής Ενέργειας (Nuclear Energy Agency, NEA) επαρκούν για περίπου 200 χρόνια ακόμα, καθώς έχουν εντοπιστεί συνολικά 5,5 εκατομμύρια τόνοι ουρανίου στο έδαφος [32]. Όμως, εφόσον αποφασιστεί αύξηση του πλήθους των αντιδραστήρων, οι πόροι αυτοί θα μειωθούν σημαντικά. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι η πυρηνική επιλογή δεν είναι βιώσιμη μακροπρόθεσμα ως εγγυημένη πηγή ενέργειας.

Συνεπώς, ανακύπτουν ερωτήματα όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια υπό την έννοια της έλλειψης καυσίμων που θα παρατηρηθεί λόγω των αυξανόμενων αναγκών. Οι προβλέψεις για την ύπαρξη αποθεμάτων άνθρακα για τα επόμενα 150 χρόνια δεν είναι αισιόδοξες [74], ιδιαίτερα αν παρατηρήσει κανείς την ανεξέλεγκτη τάση κατανάλωσής του από τις αναπτυσσόμενες χώρες της Ασίας, με κυρίαρχες την Κίνα και την Ινδία. Αλλά και η παροχή φυσικού αερίου αναμένεται να αντιμετωπίσει σημαντικούς περιορισμούς, καθώς εκτιμάται ότι η ζήτησή του θα αυξηθεί σε 163 τρισεκατομμύρια περίπου το 2030. Αυτά υπαγορεύουν τη σταδιακή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή ανεξάντλητων πηγών ενέργειας.

ε) Ανησυχία λόγω της κλιματικής αλλαγής:

Οι τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγούν σε σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αερίων

του θερμοκηπίου τοποθετώντας, έτσι, την ενεργειακή κατανάλωση στο επίκεντρο της συζήτησης για την κλιματική αλλαγή.

Ο όρος κλιματική αλλαγή ή «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αναφέρεται στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης, η οποία προκαλείται από την αύξηση στην ατμόσφαιρα των συγκεντρώσεων αερίων που έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν τη θερμότητα. Τέτοιου είδους αέρια είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), οι φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (HFC_5), οι υπερφθοράνθρακες (PFC_5) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) [33]. Από αυτά, το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει σημαντικά στην κλιματική αλλαγή καθώς αντιστοιχεί στο 80% των εκπομπών όλων των αερίων του θερμοκηπίου [34]. Εκτιμάται ότι ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας παράγει περίπου το ένα τρίτο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως [35]. Οι ανησυχίες για τους δυνητικούς κινδύνους που προκαλεί η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου ωθούν τις χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο να θέτουν ολοένα και αυστηρότερα όρια στη λειτουργία των μονάδων καύσης άνθρακα. Η ανάγκη για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων οδήγησε στην πραγματοποίηση της Παγκόσμιας Συνδιάσκεψης στο Ρίο της Βραζιλίας στις 3-14 Ιουνίου 1992 [36], όπου 106 χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2000 στα επίπεδα του 1990. Μετά από τη συνδιάσκεψη αυτή, η προστασία του περιβάλλοντος αναδείχθηκε σε σημαντικό παγκόσμιο στόχο. Στις 11 Δεκεμβρίου του 1997 πραγματοποιήθηκε η Διακυβερνητική Συνδιάσκεψη στο Κιότο της Ιαπωνίας, όπου υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο για τις κλιματικές αλλαγές. Επτά χρόνια μετά την αρχική συμφωνία, στις 16 Φεβρουαρίου του 2005, τέθηκε σε ισχύ το Πρωτόκολλο του Κιότο με στόχο την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Κεντρικός άξονας του Πρωτοκόλλου αυτού ήταν οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά ανεπτυγμένων κρατών να μειώσουν τις εκπομπές των 6 προαναφερθέντων αερίων του θερμοκηπίου, με κυριότερο το CO_2 , στην περίοδο 2008-2012 κατά ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. [37]

Η αναπόφευκτη άνοδος της ζήτησης λόγω του ταχύτατου ρυθμού αύξησης του πληθυσμού και της ανοδικής οικονομικής δραστηριότητας, εντείνει την εξάρτηση των σταθμών παραγωγής από τα ορυκτά καύσιμα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά τις ώρες αιχμής, θα χρειαστεί να κατασκευαστούν νέες συμβατικές μονάδες παραγωγής που θα ενεργοποιούνται για ελάχιστο χρονικό διάστημα επιβαρύνοντας ακόμη περισσότερο το περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συνεπώς, δεν θα σχετίζονται μόνο με την παραγωγή ενέργειας για κατανάλωση από τους τελικούς χρήστες αλλά και με την κατασκευή εξοπλισμού, τη μεταφορά και διανομή της ενέργειας, την προμήθεια καυσίμων και τη διάθεση αποβλήτων από τους νέους αυτούς σταθμούς.

στ) Η ανάγκη αύξησης της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θεωρείται πλέον ως το σημαντικότερο πρόβλημα που προκαλεί η καύση των ορυκτών καυσίμων. Η θεώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πιθανή λύση του προβλήματος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αλλά και της ταυτόχρονης εξασφάλισης ενεργειακής επάρκειας είναι επιβεβλημένη.

Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» αποδίδεται σε όλες τις πηγές ενέργειας των οποίων η ροή στο φυσικό περιβάλλον είναι συνεχής και ανανεούμενη με τον ίδιο ρυθμό που καταναλίσκονται. Συγκεκριμένα, οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ είναι οι ακόλουθες [38][39][40]:

- Αιολική ενέργεια: Είναι η ενέργεια που εμπεριέχει η ροή των ανέμων και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με χρήση κατάλληλων μηχανισμών και διατάξεων. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται αρχικά σε μηχανική μέσω των ανεμογεννητριών και ακολούθως σε ηλεκτρική.
- Ηλιακή ενέργεια: Προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και αξιοποιείται τόσο μέσω θερμικών όσο και μέσω φωτοβολταϊκών διατάξεων. Το γνωστότερο παράδειγμα θερμικής εφαρμογής είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας, όπου η θερμοκρασία του νερού μπορεί να αυξάνεται μέσω της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας για οικιακή ή άλλη χρήση. Από την άλλη πλευρά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

- Υδροηλεκτρική ενέργεια: Είναι η ενέργεια που στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω υδροστροβίλων και γεννητριών.
- Καύση βιομάζας: Οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Τέτοια υλικά είναι τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωτικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.
- Γεωθερμία: Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά ύδατα και σε θερμά ξηρά πετρώματα.
- Ενέργεια ωκεανών: Οι ωκεανοί μπορούν να προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της ενέργειας της θάλασσας: από τα κύματα, από τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες) και από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.

Το κύριο ερώτημα που προκύπτει είναι αν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να αντικαταστήσουν μεγάλο μέρος της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και μακροπρόθεσμα να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Αρκετοί σχετικοί περιορισμοί, όμως, επιβάλλονται από τη δομή του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου. Έτσι, η μετάβαση σε ένα σύστημα που θα έχει ως βάση τα μη ορυκτά καύσιμα είναι ιδιαίτερα δύσκολη για τους εξής κυρίως λόγους:

- ♦ Η μεγάλη απόσταση των αστικών κέντρων από τις εγκαταστάσεις που αξιοποιούν τις ΑΠΕ: Στην περίπτωση αυτή, η μεταφορά και διανομή της ενέργειας που παράγεται από τις ΑΠΕ επιβαρύνει το ήδη υπερφορτωμένο δίκτυο μεταφοράς, ενώ προκαλούνται και σημαντικές απώλειες μεταφοράς λόγω των μεγάλων σχετικών αποστάσεων.
- ♦ Ακατάλληλες υποδομές για την αντιμετώπιση της άνισης κατανομής των πηγών και της διαλείπουσας φύσης τους: Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται προβλήματα σταθερότητας της τάσης και της άεργου ισχύος που υποβαθμίζουν την ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- ♦ Το υψηλό κόστος της μετάβασης: Τα υφιστάμενα τοπικά δίκτυα αδυνατούν να απορροφήσουν την ισχύ των ΑΠΕ. Η ανάγκη ενίσχυσής τους είναι χρονοβόρα και δαπανηρή, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για επεκτάσεις δικτύων υψηλής τάσης.
- ♦ Το δίκτυο διανομής είναι κατά βάση κεντρικά ελεγχόμενο: Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να αξιοποιήσει διεσπαρμένες μονάδες ανανεώσιμης ενέργειας.
- ♦ Δεν έχουν ενσωματωθεί στο δίκτυο μονάδες αποθήκευσης ενέργειας.

Για τους ανωτέρω λόγους οι τεχνολογίες ΑΠΕ, μολονότι μπορούν να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας σε τοπικό επίπεδο και να μετριάσουν την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου, χαρακτηρίζονται από περιορισμένες δυνατότητες διεύθυνσης και υψηλό κόστος.

ζ) Επικοινωνία με τον καταναλωτή:

Στα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει λίγο έως και καθόλου συμμετοχή του καταναλωτή και απουσιάζει εντελώς η επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Η νέα γενιά καταναλωτών αναζητεί, πλέον, αμφίδρομη επικοινωνία με την ενεργειακή επιχείρηση. Για δεκαετίες οι καταναλωτές πίστευαν ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα φθινό, άμεσα διαθέσιμο αγαθό χωρίς διακυμάνσεις τιμής και ποιότητας. Καθώς, όμως, τα τελευταία χρόνια ενημερώνονται περισσότερο για τον κρίσιμο ρόλο της ηλεκτρικής ενέργειας, γίνονται περισσότερο απαιτητικοί ως προς το πώς τους αντιμετωπίζει η ηλεκτρική

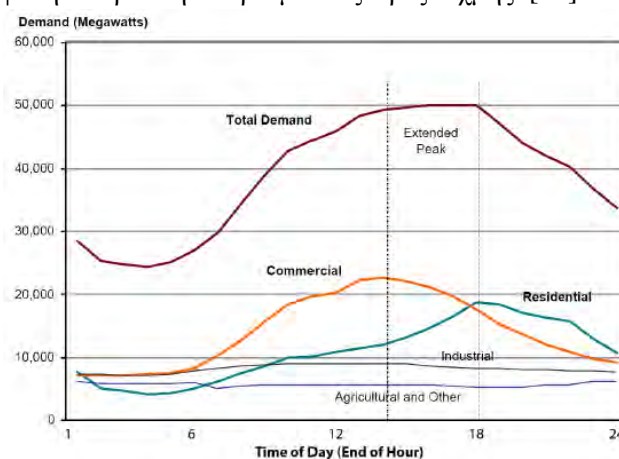
επιχείρηση και απαιτούν να συμμετέχουν στη διαδικασία διαμόρφωσης της ζήτησης και των τιμών διεκδικώντας ένα περισσότερο αξιόπιστο και φιλικό προς αυτούς δίκτυο.

η) Χρονικά συγκεντρωμένη ζήτηση:

Οι ανάγκες των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια δεν παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Αντιθέτως, μεταβάλλονται δυναμικά, όχι μόνο κατά τη διάρκεια ενός έτους αλλά και εντός μιας ημέρας. Είναι, επομένως, αναγκαία η ρύθμιση της ποσότητας της παραγόμενης ΗΕ κατά δυναμικό τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται οι διαρκείς μεταβολές στη ζήτηση.

Η στατιστική μελέτη της ζήτησης ΗΕ από τυπικές οικιακές καταναλώσεις οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ζήτηση μεγιστοποιείται κάποια χρονική στιγμή, ενώ νωρίτερα αλλά και αργότερα μειώνεται απότομα. Καθώς τα περισσότερα νοικοκυριά λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο, για την αποφυγή ολικών διακοπών, η εταιρεία παροχής ηλεκτρισμού πρέπει να σχεδιάσει το σύστημα παραγωγής και διανομής ΗΕ, ώστε να καλύπτεται η μέγιστη ζήτηση κατά τη διάρκεια μιας ημέρας και να υπάρχει πλεόνασμα ασφαλείας. Όμως, η μέγιστη αυτή ζήτηση απαιτείται για μικρή χρονική διάρκεια, με αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων και δαπανηρές επενδύσεις προς την κατεύθυνση της αύξησης της δυναμικότητας παραγωγής ενέργειας.

Το φαινόμενο αυτό απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3.7, όπου παρουσιάζεται η ανάγκη επέκτασης της δυναμικότητας παραγωγής λόγω της κατανάλωσης αιχμής. Όπως φαίνεται σε αυτό το Διάγραμμα, μεταξύ 14:00 και 18:00, η συνολική ζήτηση ΗΕ είναι σημαντικά υψηλότερη από τη μέση ζήτηση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Καθώς η απαιτούμενη δυναμικότητα παραγωγής ΗΕ εξαρτάται από τη μέγιστη τιμή της ζήτησης ΗΕ, με μείωση της κατανάλωσης κατά τις συγκεκριμένες ώρες είναι δυνατό να αποφευχθούν επενδύσεις στην αύξηση της δυναμικότητας παραγωγής. Σε αντίθεση με το υφιστάμενο δίκτυο, ένα «Έξυπνο Δίκτυο» θα διευκόλυνε το σκοπό αυτό, καθώς με την εγκατάστασή του θα ήταν εφικτή η τιμολόγηση της ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, ο καταναλωτής θα έχει ως κίνητρο να αποφύγει την κατανάλωση ΗΕ τις κρίσιμες αυτές ώρες (ώρες αιχμής) και να μεταθέσει χρονικά ορισμένες ενεργοβόρες δραστηριότητες, μειώνοντας τη συνολική ζήτηση που πρέπει να καλύψει η εταιρεία ηλεκτρισμού τις ώρες αιχμής. [41]



Διάγραμμα 3.7: Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας στην Καλιφόρνια (Η.Π.Α.) το 1999 [41]

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, είναι εφικτή μεγάλη εξοικονόμηση πόρων υπό την προϋπόθεση ότι η ζήτηση μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη χρονική διασπορά σε ημερήσια βάση. Η αναγκαία δυναμικότητα του συστήματος μπορεί έτσι να μειωθεί, ενώ και το δίκτυο διανομής δεν απαιτείται να έχει τόσο μεγάλη χωρητικότητα, δηλαδή δεν απαιτείται να διαθέτει υποδομές τέτοιες ώστε να μπορεί να μεταφέρει τόσο μεγάλες ποσότητες ΗΕ.

θ) Αδυναμία δυναμικής εκτίμησης της ζήτησης:

Στις σημερινές απελευθερωμένες αγορές ΗΕ η κάλυψη της ζήτησης γίνεται μέσω ενός ρυθμιστή - διαχειριστή. Η τιμή πώλησης κάθε kWh μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους ανάλογα με τη σχέση προσφοράς και ζήτησης. Κάθε παραγωγός λαμβάνοντας υπόψη

την προσφερόμενη τιμή ανά kWh επιλέγει τη λειτουργία αντίστοιχου αριθμού μονάδων. Η παραγόμενη αυτή ΗΕ μέσω κάποιας άλλης εταιρείας φτάνει στον τελικό καταναλωτή.

Το σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο δεν παρέχει τη δυνατότητα ενημέρωσης σε πραγματικό χρόνο του παραγωγού ή του καταναλωτή ως προς την τρέχουσα κατάσταση της αγοράς ΗΕ. Το γεγονός αυτό αποτελεί εμπόδιο στην περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ. Με την ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογίας τέτοιας ώστε να καθίσταται εφικτή η εκτίμηση της ζήτησης και της προσφοράς αλλά και ο καθορισμός της τιμής σε πραγματικό χρόνο, γίνεται ένα περαιτέρω βήμα προς την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ. Η διαμόρφωση τέτοιας αγοράς θα συμβάλει στη δημιουργία ενός ανταγωνιστικότερου περιβάλλοντος και θα λειτουργήσει θετικά για την κοινωνία και την οικονομία.

Από τα παραπάνω, καταλαβαίνουμε πως το υπάρχον δίκτυο βρίσκεται υπό μεγάλη πίεση από τις διάφορες προκλήσεις και ανάγκες που προκύπτουν από το περιβάλλον, τους καταναλωτές, την αγορά αλλά και από θέματα της υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι περισσότερο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν το δίκτυο σε επέκταση αλλά και σε ενίσχυση των λειτουργιών του προς εξυπνότερα χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των ταχύτατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών.

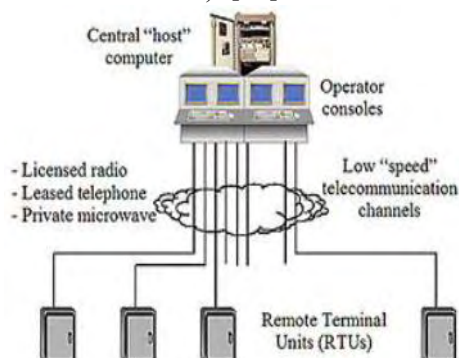
3.6 Το ξεπερασμένο ηλεκτρικό δίκτυο και η εξέλιξη της τεχνολογίας

Η βαθμιαία αύξηση της κατανάλωσης οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης και σαν αποτέλεσμα και της παραγωγής. Το σύστημα αναγκάστηκε να λειτουργεί πιο κοντά στα όρια του λόγω οικονομικών και περιβαλλοντικών περιορισμών και οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος στη μέγιστη χωρητικότητά τους. Συνέπεια αυτού του γεγονότος, ήταν να συμβαίνουν αρκετές και πολύωρες διακοπές της τάσης λόγω υπερφόρτωσης των γραμμών.

Επίσης, η δομή των επικοινωνιών που υπάρχει αυτή τη στιγμή σχεδιάστηκε για να ανταποκριθεί στις ανάγκες της βιομηχανίας που χρονολογείται αρκετές δεκαετίες πριν. Τα δίκτυα επικοινωνιών στα ηλεκτρικά δίκτυα σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν λειτουργίες ελέγχου και επικοινωνίες δεδομένων μεταξύ των κέντρων ελέγχου (στην Ελλάδα αυτό αντιστοιχεί στον ΑΔΜΗΕ) και των υποσταθμών μόνο. Αυτά τα παραδοσιακά συστήματα ελέγχου υλοποιούνται με συστήματα SCADA (ο όρος SCADA είναι ακρωνύμιο του όρου Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων). Τα μηνύματα, στα συστήματα SCADA αποστέλλονται μεταξύ του κέντρου ελέγχου και των υποσταθμών και αποτελούνται είτε από πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου (τάσεις, ρεύματα, θερμοκρασίες, κατάσταση διακοπών) είτε από εντολές οι οποίες αλλάζουν τη διαμόρφωση του δικτύου (π.χ. εντολές για να ανοίξει ή να κλείσει ένας διακόπτης).

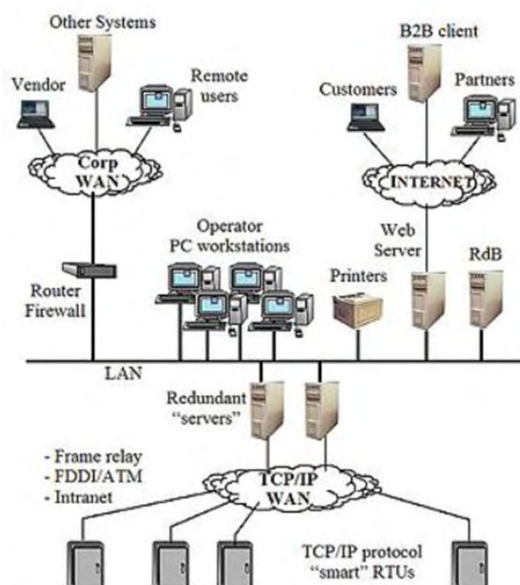
Η χρήση των συστημάτων SCADA έγινε δημοφιλής στα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1960, καθώς αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στο χειριστή τους να εποπτεύει και να ελέγχει τις διεργασίες, οι οποίες βρίσκονται κατανεμημένες μεταξύ διαφόρων απομακρυσμένων σημείων, όπως είναι η μεταφορά και διανομή ΗΕ.

Η αρχική αρχιτεκτονική των συστημάτων SCADA αποτελείται από έναν κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος επικοινωνεί με πολλές απομακρυσμένες ηλεκτρονικές μονάδες, που ονομάζονται RTUs (Remote Terminal Units). [42]



Εικόνα 3.7: Αρχιτεκτονική SCADA το 1970 [42]

Με την πάροδο των χρόνων, μέσα στην δεκαετία του 1980 και 1990, καθώς ο προσωπικός υπολογιστής και η τεχνολογία δικτύωσης εξελίχθηκε, ο σχεδιασμός των συστημάτων SCADA άλλαξε ώστε να ενσωματώσει αυτές τις τεχνολογίες. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και του 2000 στο σχεδιασμό των συστημάτων ενσωματώθηκαν και διάφορες τεχνολογίες του Internet. [42]



Εικόνα 3.8: Αρχιτεκτονική SCADA το 2000 [42]

Έτσι, ενώ παραδοσιακά τα συστήματα SCADA ήταν στην φύση τους σειριακά και ιεραρχικά και οι χρήστες επικοινωνούσαν με τους υποσταθμούς μέσω ενός RTU, το οποίο στη συνέχεια επικοινωνούσε με μετρητές, ηλεκτρονόμους, κ.λπ., ή οι χρήστες επικοινωνούσαν απευθείας με συσκευές τροφοδότησης, στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τα IEDs (Intelligent Electronic Devices) με αποτέλεσμα να ρέει περισσότερη πληροφορία στο δίκτυο. Η επικοινωνία του υποσταθμού γίνεται πλέον μέσω ενός router σε ένα δίκτυο LAN μαζί με τη βοήθεια της διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (HMI - Human Machine Interface). [43]

Ένα σύστημα SCADA ασχολείται με διάφορες ενέργειες, όπως είναι η απόκτηση δεδομένων, η επικοινωνία δεδομένων στο δίκτυο, η παρουσίαση των δεδομένων, καθώς και ο έλεγχος. Για να εκτελεστούν, όμως, αυτές οι ενέργειες χρησιμοποιούνται:

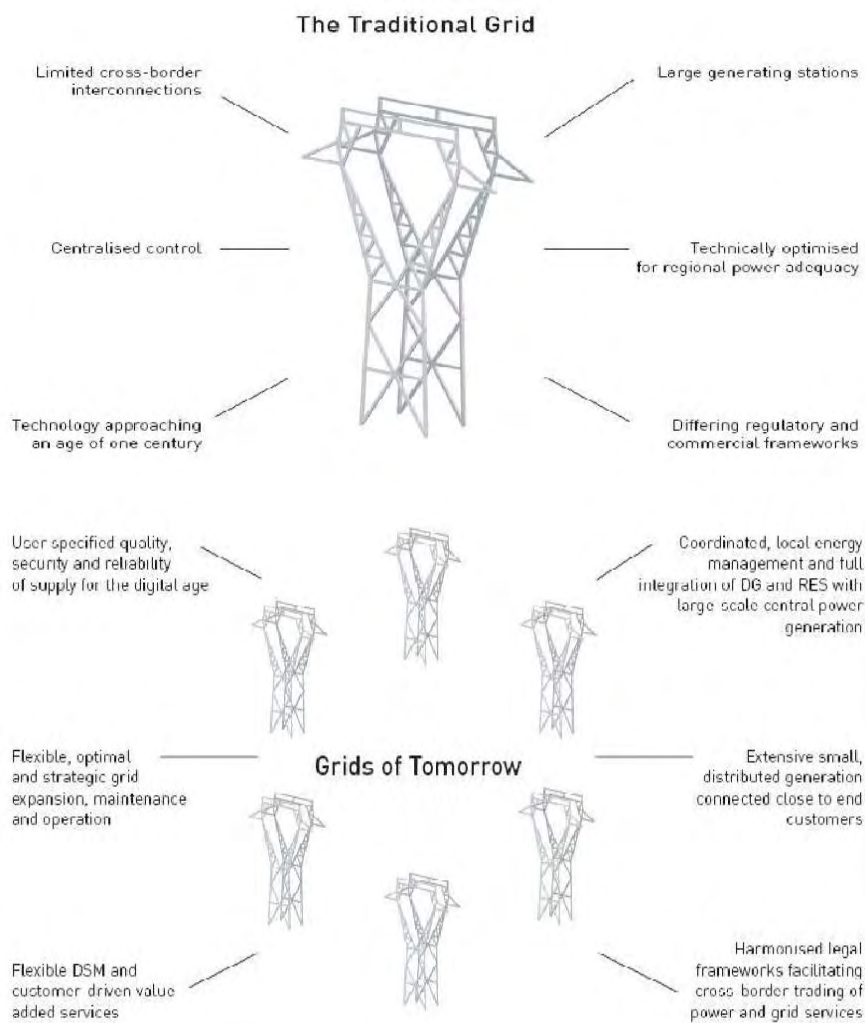
- *Αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες (sensors) και ρελέ ελέγχου (control relays).*
- *Remote Telemetry Units (RTUs):* Τα RTUs συλλέγουν το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων, παρέχοντας ταυτόχρονα αξιοπιστία και ασφάλεια στη συλλογή τους. Μετατρέπουν εισερχόμενα σήματα από τον πραγματικό κόσμο, όπως πίεση, ροές, τάσεις ή ρεύματα, επαφές, κ.λπ., σε σήματα τα οποία μπορούν να αποσταλούν ενσύρματα ή ασύρματα. Επίσης, τα RTUs μετατρέπουν εισερχόμενα σήματα από άλλα RTUs ή από τον κεντρικό H/Y σε σήματα εξόδου, ώστε να ανοίξουν ή να κλείσουν ηλεκτρονόμοι και διακόπτες.
- *Master station and human machine interface (HMI):* Αποτελείται από τους servers και το λογισμικό πάνω στα οποία συνδέεται όλος ο εξοπλισμός. Η διεπαφή ανθρώπου μηχανής είναι υπεύθυνη για την κατάρτιση και τη μορφοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται, έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να παίρνει κατάλληλες εποπτικές αποφάσεις ελέγχου.
- *Γραμμές επικοινωνίας (radio, καλωδιακή, τηλεφωνική).*

Η τεχνολογία, όμως, συνεχώς εξελίσσεται. Αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με το σημερινό πεπαλαιωμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, η αξιοπιστία του συστήματος προς τους πελάτες συνεχώς μειώνεται, το ίδιο και η απόδοσή του. Το σύστημα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται άμεσα στις συνεχώς αυξανόμενες επιθυμίες, στην ανεπάρκεια αποθεμάτων ή στις σοβαρές έκτακτες ανάγκες. Είναι πασιφανές πως το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος πρέπει να εκσυγχρονιστεί και να μεταβληθεί ο τρόπος διαχείρισής του για να προσφέρει την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση. Οι τεράστιες δυνατότητες των προσωπικών

υπολογιστών, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας TCP/IP/Ethernet, η εξάλειψη της καθυστέρησης μετάδοσης και η αύξηση του εύρους ζώνης, η ψηφιακή τεχνολογία, οι οπτικές ίνες, η ασύρματη τεχνολογία, τα δίκτυα αισθητήρων, τα υπολογιστικά πλέγματα και τα υπολογιστικά νέφη, οι τεχνολογίες της διάχυτης νοημοσύνης, τα πρότυπα ZigBee, Wi-Fi, WiMAX, δημιουργούν σκέψεις για αποτελεσματική εκμετάλλευσή τους στον τομέα της ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης, οι γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, με τις πανταχού παρούσες πρίζες, έχει γίνει ένα πολύ επιθυμητό μονοπάτι ενσύρματων επικοινωνιών στο σπίτι, προσφέροντας υψηλή ταχύτητα και ποιότητα επικοινωνιών (Power Line Communications, PLC).

Ως εκ τούτου, το δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος αρχίζει να αντιμετωπίζει την τάση ενσωμάτωσης της υποδομής ηλεκτρικού ρεύματος με την υποδομή της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Αυτή η αλλαγή θα μεταφέρει τα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος από τις ξεπερασμένες και αποκλειστικές τεχνολογίες στη χρησιμοποίηση των κοινών σύγχρονων τεχνολογιών για ζεύξεις επικοινωνιών μεταξύ τους και στην αλλαγή του τρόπου παραγωγής, διαχείρισης και κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Για να ξεπεράσουμε, λοιπόν, αυτά τα προβλήματα, προέβαλε μια νέα έννοια, ενός ηλεκτρικού δικτύου επόμενης γενιάς, ένα Έξυπνο Δίκτυο. Η στροφή στην ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς ώστε να είναι πιο έξυπνα έχει συνοπτικά οριστεί ως «Έξυπνο Δίκτυο» (*Smart Grid*), ενώ άλλες ονομασίες αποτελούν τα IntelliGrid, GridWise, FutureGrid, κ.λπ. Το Έξυπνο Δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να ενσωματώσει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό -παραγωγών, καταναλωτών- με σκοπό να διασφαλιστεί αποτελεσματικά η σταθερότητα, η οικονομία και η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.9: Δίκτυα του σήμερα και του αύριο

Κεφάλαιο 4

Το Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid)

4.1 Μετάβαση από το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο στο Έξυπνο Δίκτυο

Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μία σημαντική επιβάρυνση των δικτύων παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι οι ανθρώπινες ανάγκες αυξάνονται συνεχώς, και αφετέρου στο ότι η τεχνολογική πρόοδος απαιτεί ολοένα και μεγαλύτερα ποσά αδιάλειπτης, χωρίς αυξομειώσεις ισχύος, ενέργειας.

Οι αυξανόμενες ανάγκες για ισχύ και οι αναδιατάξεις στο χάρτη ζήτησης ενεργειακών υπηρεσιών και λύσεων φέρνουν συχνά τα διεθνή δίκτυα ηλεκτροδότησης σε αδιέξοδο, που μεταφράζεται σε χαμηλής ποιότητας προϊόν. Τα σημερινά δίκτυα παραγωγής και διανομής ενέργειας είναι παλαιωμένα, ενώ συχνά επικρατεί αβεβαιότητα στις εκάστοτε ρυθμιστικές επιτροπές σχετικά με τον τρόπο που θα ανταμειφθούν οικονομικά οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας (μετά την απελευθέρωση της αγοράς της ενέργειας). Όλα αυτά έχουν συμβάλει στην αισθητή μείωση των οικονομικών πόρων που διατίθενται για επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας, ενώ παράλληλα υπάρχει μεγάλη ανάγκη για νέες υποδομές.

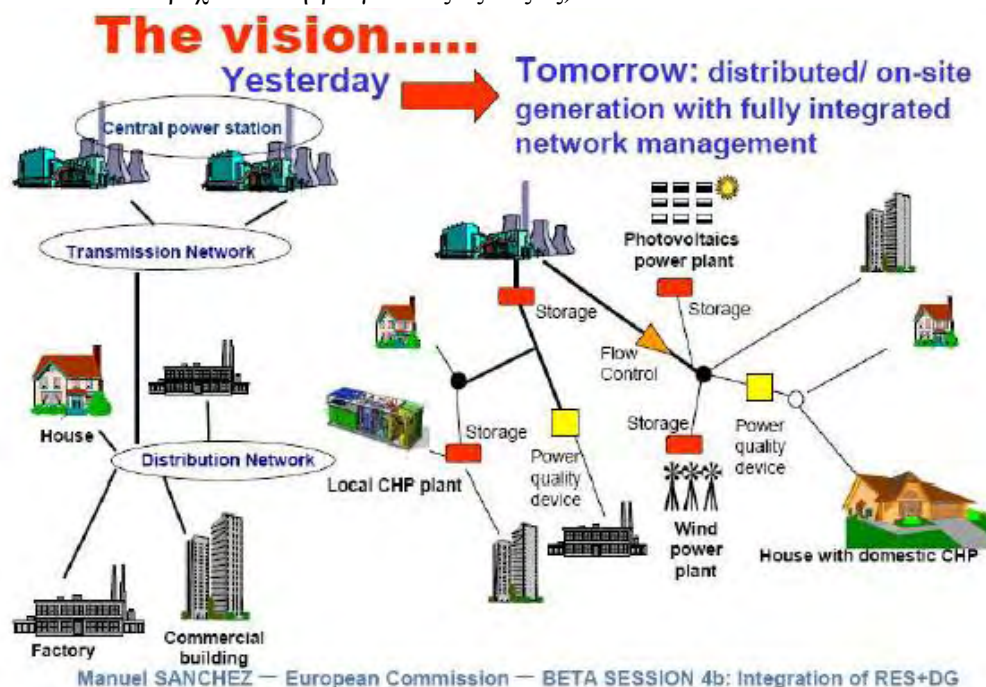
Επιπλέον, τα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν να αντιμετωπίσουν και άλλα θέματα, όπως είναι η σχετικά χαμηλή απόδοση και οι υψηλές απώλειες, ενώ η ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν. Πέραν αυτού, η ανάγκη για διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υπάρχον δίκτυο, ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις εξαιτίας της εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων, οδηγεί σε μια νέα εποχή για τον τομέα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και δημιουργεί νέες προκλήσεις για την επιτυχή ενσωμάτωσή τους.

Το παρόν ηλεκτρικό δίκτυο έχει εξυπηρετήσει τους παραγωγούς και τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη επιτυχία για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα από αυτό που είχε αρχικά εκτιμηθεί. Ωστόσο, φαίνεται ότι ήρθε η ώρα για μια επαναστατική αλλαγή. Αυτή η αλλαγή θα οδηγήσει στη δημιουργία νέων προϊόντων, διαδικασιών και υπηρεσιών, που θα βελτιώσουν τη βιομηχανική αποτελεσματικότητα και τη χρήση καθαρών πηγών ενέργειας, ενώ θα διασφαλίσει την προστασία των υποδομών και θα βοηθήσει στη βελτίωση της καθημερινής ζωής των πολιτών.

Όλα τα παραπάνω, οδηγούν στην εξέλιξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης όλων αυτών των ζητημάτων με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Αυτή η κατεύθυνση αναβάθμισης του υφιστάμενου δικτύου αποτελεί το Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid).

Για μια επιτυχημένη, όμως, μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα είναι απαραίτητη η συμμετοχή όλων. Κυβερνήσεις, νομοθέτες, καταναλωτές, παραγωγοί, έμποροι, εταιρίες διανομής και μεταφοράς, κατασκευαστές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και πάροχοι υπηρεσιών πληροφορικής και επικοινωνιών, πρέπει όλοι να συμμετέχουν ενεργά.

Παράλληλα, είναι σημαντική η δημιουργία πιλοτικών προγραμμάτων, όχι μόνο σε τεχνικό επίπεδο αλλά και σε οργανωτικό (π.χ. οι νομοθετικές διατάξεις πρέπει να ανανεωθούν με τρόπο ώστε να παρέχουν κίνητρα για νέες εξελίξεις).



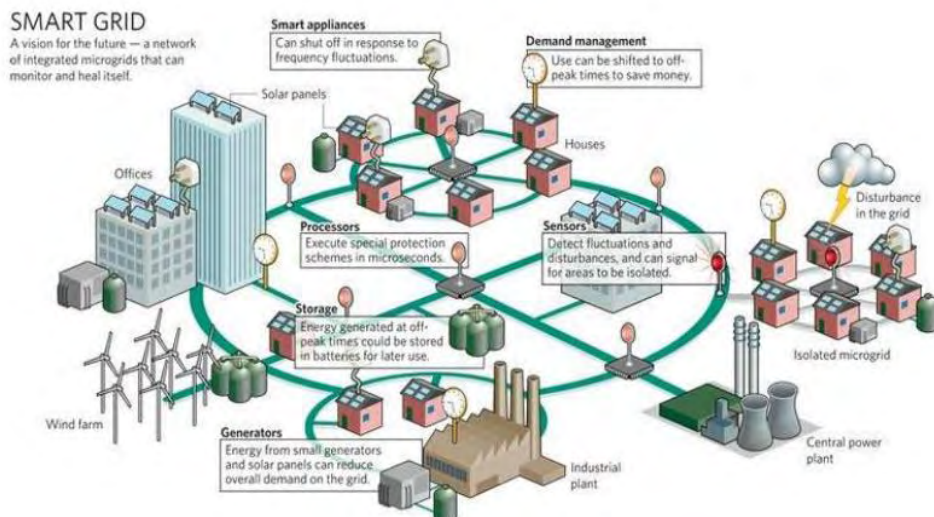
Εικόνα 4.1: Παρελθόν - Μέλλον Δικτύων Ενέργειας

4.2 Τι είναι το Έξυπνο Δίκτυο;

Το Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο θεωρείται ως ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ηλικιωμένου συστήματος ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελεί το σημείο σύγκλισης της πληροφορικής, των επικοινωνιών και των συστημάτων ισχύος με σκοπό να δημιουργήσει ένα πιο στιβαρό, αποτελεσματικό και ευέλικτο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, καθώς επιτρέπει την πολλαπλών κατευθύνσεων (multi-directional) ροή ισχύος και ανταλλαγή πληροφοριών.

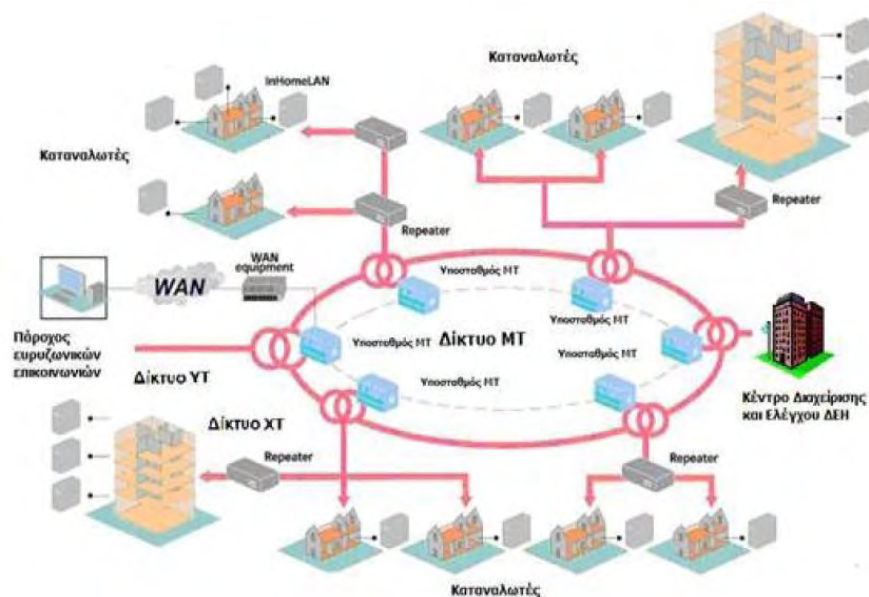
Μέχρι τώρα δεν έχει δοθεί ένας κοινά αποδεκτός ορισμός του Έξυπνου Δικτύου. Διάφοροι ορισμοί που υπάρχουν στη βιβλιογραφία διαφέρουν ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής και τον τρόπο προσέγγισής του. Ο ορισμός που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη, έχει δοθεί από την European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future Smart Grids, ένα φορέα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που ιδρύθηκε το 2005 με στόχο την ανάπτυξη των ευρωπαϊκών δικτύων HE, από το 2020 και μετά. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτόν [44]: «Ένα Ευφυές Δίκτυο είναι ένα δίκτυο HE το οποίο έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνει έξυπνα τη συμπεριφορά και τις ενέργειες όλων των συνδεδεμένων χρηστών – είτε αυτοί είναι παραγωγοί, είτε καταναλωτές, είτε και τα δύο – με σκοπό να παρέχει αποδοτικά και με ασφάλεια, βιώσιμη και οικονομική ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιεί καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες, μαζί με τεχνολογίες ευφυούς παρακολούθησης, ελέγχου, επικοινωνίας και αυτόματης επιδιόρθωσης, με σκοπό:

- τη διευκόλυνση της σύνδεσης και της λειτουργίας μονάδων παραγωγής όλων των μεγεθών και τεχνολογιών,
- τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και της χρήσης των υποδομών του δικτύου,
- την παροχή περισσότερων πληροφοριών, δυνατότητας επιλογής παρόχου και συμμετοχής στη λειτουργία του συστήματος προς τους καταναλωτές,
- τη σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σε ολόκληρο το σύστημα παροχής HE,
- τη διατήρηση της αξιοπιστίας, της ποιότητας και της ασφάλειας εφοδιασμού σε υψηλό επίπεδο του συστήματος παροχής HE,
- τη διατήρηση και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των υπάρχουσών υπηρεσιών,
- την ενοποίηση των αγορών σε μία ενιαία ευρωπαϊκή αγορά.»



Εικόνα 4.2: Αναπαράσταση ενός Έξυπνου Δικτύου

Η ιδέα του Έξυπνου Δικτύου υπόσχεται στον κόσμο μια αποτελεσματική και ευφυή προσέγγιση διαχείρισης της προμήθειας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το Έξυπνο Δίκτυο μπορεί να πάρει έξυπνες αποφάσεις για να διατηρήσει την ισορροπία στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι καταναλωτές και οι προμηθευτές ενέργειας μπορούν να επωφεληθούν από την πρακτικότητα, την ευκολία, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας, που θα παρέχεται μέσω της διαχείρισης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 4.3: Διάγραμμα Έξυπνου Δικτύου

Γενικά, οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει ένα Ευφυές Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- αυξημένη αξιοπιστία,
- βελτίωση της ευστάθειας του συστήματος,
- αύξηση ενεργειακής απόδοσης και ποιότητας ισχύος,
- ενσωμάτωση εναλλακτικών κατανεμημένων πηγών παραγωγής, όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα,
- ελαστικότητα στη ζήτηση ενέργειας με τη χρήση των ΑΠΕ,
- προστασία περιβάλλοντος,
- εξοικονόμηση ενέργειας - μείωση απωλειών,

- διαχείριση κατανάλωσης και προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης,
- απομακρυσμένος έλεγχος έξυπνων οικιακών συσκευών μέσω έξυπνων μετρητών,
- ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών στην αγορά με αμφίδρομη επικοινωνία και ροή μεγάλου όγκου πληροφοριών,
- εξοικονόμηση κόστους από τη μείωση του φορτίου αιχμής,
- ευφυής συνύπαρξη της κεντρικής και διεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα τη μείωση της χρήσης άνθρακα και αποδοτικού χειρισμού της ζήτησης,
- εμπορία ενέργειας και βελτιστοποίηση κόστους μέσω χρονομεταβλητών τιμολογίων και διαφόρων κινήτρων εξαρτώμενων από το μεταβαλλόμενο φορτίο,
- τιμολόγηση πραγματικού χρόνου,
- αποκεντρωμένη παραγωγή (οικιακοί καταναλωτές που μπορούν να γίνουν και παραγωγοί), και
- ενσωμάτωση plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων για αποθήκευση ενέργειας.

Ένα Έξυπνο Δίκτυο, λοιπόν, είναι ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα τη συμπεριφορά όλων όσων συνδέονται με αυτό - είτε καταναλωτών, είτε χρηστών - για την αποτελεσματική επίτευξη του βιώσιμου, οικονομικού και ασφαλούς εφοδιασμού της ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό διαθέτει το κατάλληλο λογισμικό και υλικό συστημάτων πληροφορίας και τηλεπικοινωνιών. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα ηλεκτρικό σύστημα επόμενης γενιάς.

Ένα Έξυπνο Δίκτυο προκειμένου να μεταφέρει ηλεκτρισμό από τους προμηθευτές στους καταναλωτές χρησιμοποιεί αμφίδρομη ψηφιακή τεχνολογία, έτσι ώστε να ελέγχονται οι συσκευές στα σπίτια των καταναλωτών, για να εξοικονομείται ενέργεια, να μειώνεται το κόστος και να αυξάνεται η αξιοπιστία και η διαφάνεια. Για να προστεθεί «ευφυΐα» στα δίκτυα χρειάζονται ανεξάρτητοι μικροεπεξεργαστές σε κάθε συσκευή του δικτύου. Τα Έξυπνα Δίκτυα χρησιμοποιούν εξελιγμένους αισθητήρες (sensors) και ενεργοποιητές (actuators), καθώς και κατανεμημένους υπολογιστές για να βελτιώνουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή. Οι υποβοηθητικές τεχνολογίες των Ευφύων αυτών Δικτύων είναι τα συστήματα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management/Demand Response, DSM/DR), οι υπηρεσίες online, οι έξυπνοι μετρητές (Smart Meters), τα ηλεκτρονικά ισχύος και οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας [45]. Το ηλεκτρικό δίκτυο, ενδέχεται στο μέλλον να πάρει τις διαστάσεις του διαδικτύου (Internet) και μέχρι το 2020 οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να επιτρέπουν σε όλους πρόσβαση στις υπηρεσίες τους.

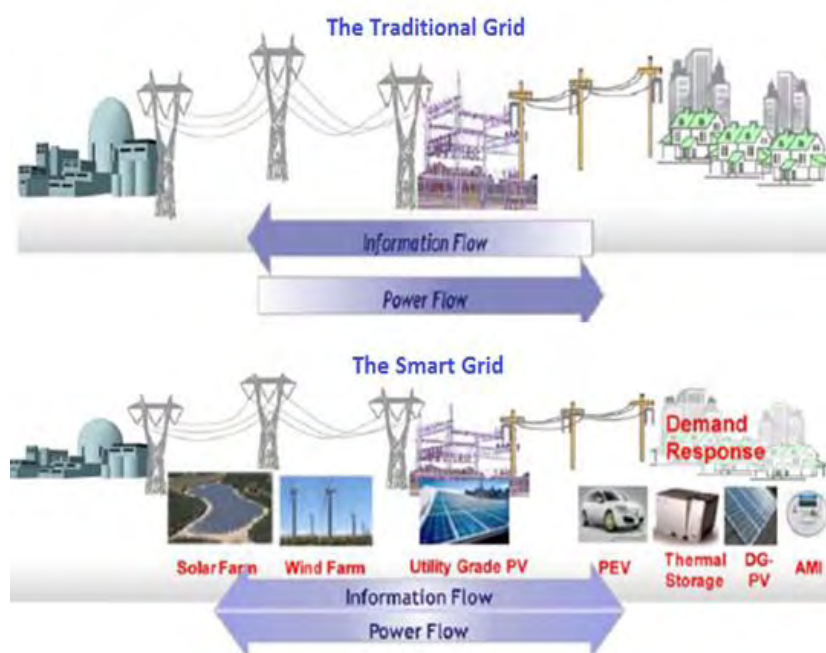
Ένα Ευφύες Δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές όλων των επιπέδων να επικοινωνούν με το σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά. Με τη χρήση έξυπνων συσκευών οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια. Επιπλέον, προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, για τα κίνητρα μείωσης ζήτησης και για τα σήματα άμεσης διακοπής φορτίων.

Πιο συγκεκριμένα, ένα Έξυπνο Δίκτυο περιλαμβάνει ένα έξυπνο σύστημα, με το οποίο γίνεται ο έλεγχος της ενέργειας στο σύστημα, ενώ επίσης ενσωματώνει τη χρήση υπεραγώγιμων γραμμών μεταφοράς για λιγότερες απώλειες. Τα ανεπτυγμένα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών και των κινήτρων σε μεταβλητές στροφές, ώστε να αυξάνεται η απόδοση και η ποιότητα της παροχής ισχύος. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι φθηνότερη, ένα Έξυπνο Δίκτυο θα μπορούσε να ενεργοποιεί συγκεκριμένες οικιακές συσκευές, όπως για παράδειγμα τα πλυντήρια ή ακόμη και ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες, ενώ σε ώρες αιχμής θα μπορούσε να κλείνει επιλεγμένες συσκευές για να μειώσει τη ζήτηση. Η αυτοδιόρθωση (self healing) είναι μία προοπτική γι' αυτά τα δίκτυα και μελετάται.

Επιπλέον, η Εταιρεία Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ESCO) ή ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας μπορεί να βελτιστοποιεί την απόδοση του δικτύου διανομής, να προλαμβάνει τις διακοπές παροχής, να αποκαθιστά ταχύτερα τις βλάβες που

προκαλούν διακοπές και να επιτρέπει στους πελάτες να διαχειρίζονται την κατανάλωση ρεύματος αναλυτικά, μέχρι και το επίπεδο της μεμονωμένης διασυνδεδεμένης ηλεκτρικής συσκευής.

4.3 Βασικές διαφορές μεταξύ Έξυπνου Δικτύου και Συμβατικού Δικτύου



Εικόνα 4.4: Οι βασικές διαφορές μεταξύ του Έξυπνου Δικτύου και του υπάρχοντος Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας [46]

Το συμβατικό δίκτυο απέχει σε μεγάλο βαθμό από την έννοια του Έξυπνου Δικτύου. Κάποιες σημαντικές διαφορές που προκύπτουν από τη σύγκρισή τους περιγράφονται παρακάτω [47]:

- Το υπάρχον δίκτυο είναι ευάλωτο σε καταπονήσεις και φυσικές καταστροφές, ενώ το Έξυπνο Δίκτυο είναι ανθεκτικό σε τέτοιους κινδύνους με ικανότητα ταχείας αποκατάστασης της βλάβης.
- Στο συμβατικό δίκτυο υπάρχουν δυσλειτουργίες που συχνά καταλήγουν σε εκτεταμένες διακοπές ρεύματος (blackout) ώστε να αποτραπούν περαιτέρω ζημιές. Αντίθετα, το Έξυπνο Δίκτυο είναι προσαρμοστικό και έχει τη δυνατότητα αυτο-ίασης. Εστιάζει στην πρόληψη, ανιχνεύει πιθανά προβλήματα και αποκρίνεται άμεσα χωρίς να επιδρά στον καταναλωτή.
- Οι καταναλωτές σε ένα Έξυπνο Δίκτυο έχουν πολλές επιλογές, είναι ενημερωμένοι και συμμετέχουν ενεργά στην αγορά ενέργειας. Αντίθετα, οι καταναλωτές στο σημερινό δίκτυο δεν έχουν τέτοιες δυνατότητες.
- Το επίκεντρο του συμβατικού δικτύου είναι η προσφορά αδιάλειπτης ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να εστιάζει σε θέματα ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Αντίθετα, ο στόχος του Έξυπνου Δικτύου είναι να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των καταναλωτών προσφέροντας υψηλής ποιότητας ηλεκτρική ενέργεια ή διαφορετικές ποιότητες σε διαφορετικές τιμές.
- Τα Έξυπνα Δίκτυα διευκολύνουν όλες τις επιλογές παραγωγής (ανανεώσιμες πηγές, διανεμημένη παραγωγή) και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στο σημερινό δίκτυο κεντρικής παραγωγής, όπου με δυσκολία ενσωματώνονται τα παραπάνω.
- Το Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιεί ψηφιακές διατάξεις, πληθώρα αισθητήρων, φορητές συσκευές ελέγχου και αμφίδρομη επικοινωνία. Τα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν στο συμβατικό δίκτυο αφού διαθέτει ελάχιστους αισθητήρες, δεν υπάρχει παρακολούθηση και αμφίδρομη ροή πληροφοριών.

Υπάρχον Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό
Μονόδρομη επικοινωνία	Αμφίδρομη επικοινωνία
Κεντρική παραγωγή	Κατανεμημένη παραγωγή
Λίγοι αισθητήρες	Αισθητήρες παντού
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτο-παρακολούθηση
Χειροκίνητη αποκατάσταση/επαναφορά	Αυτο-θεραπεία
Βλάβες και διακοπές ρεύματος	Προσαρμοστικότητα και νησιδοποίηση
Περιορισμένος έλεγχος	Εις βάθος έλεγχος
Λίγες επιλογές των πελατών	Πολλές επιλογές των πελατών

Πίνακας 4.1: Σύντομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος και του Έξυπνου Δικτύου [41]

4.4 Οι στόχοι που έχουν τεθεί για τα Έξυπνα Δίκτυα

Παρά τα αισιόδοξα προγνωστικά στοιχεία που υπάρχουν μέχρι τώρα, υπάρχει σχετική αβεβαιότητα σε αρκετούς τομείς των μελλοντικών δικτύων ενέργειας. Κάποιοι από αυτούς τους τομείς είναι η διαχείριση των ροών ενέργειας που θα προκύψουν από την ελεύθερη αγορά, η στιγμιαία απόδοση ισχύος από πολλούς σταθμούς κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και τα ρυθμιστικά πλαίσια και οι αποζημιώσεις των επιχειρήσεων που επενδύουν σε νέα και καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες. Όλα αυτά αποτελούν προβλήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης από τις αρμόδιες επιστημονικές, πολιτικές και ρυθμιστικές αρχές. Η καλύτερη στρατηγική για να αντιμετωπισθούν επιτυχώς αυτά τα σημεία αβεβαιότητας είναι να σχεδιαστούν ευέλικτα δίκτυα. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό μέσω ευρείας έρευνας και ανάπτυξης των Έξυπνων Δικτύων που, εκτός των άλλων, θα βοηθήσει στην ανάδειξη, καταγραφή και λύση οποιασδήποτε ρυθμιστικής αβεβαιότητας με συστηματικό και αυτοματοποιημένο τρόπο.

Είναι απαραίτητη η συνεργασία σε τοπικό και διεθνές επίπεδο προκειμένου να διαμορφωθεί και να ενδυναμωθεί η βασική έρευνα για την ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων, να διευκολυνθούν οι συνεργασίες μεταξύ των κρατικών και των ιδιωτικών φορέων, να καταστεί δυνατό ένα ευνοϊκό ρυθμιστικό περιβάλλον, να αναπτυχθούν βοηθητικές οικονομικές αγορές και να δημιουργηθούν νέες εκπαιδευτικές και εργασιακές συνθήκες που θα έχουν ως αποτέλεσμα την ολοκλήρωση και τελειοποίηση των δικτύων.

Γενικότερα, η σχεδίαση των Έξυπνων Δικτύων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα τυπικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου επιζητούνται βέλτιστα αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την προστασία του περιβάλλοντος, τη μέγιστη εξυπηρέτηση των πολιτών μέσω καλής ποιότητας, σταθερή, αξιόπιστη, ελεύθερη, διαφανή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος και επινοώντας νέες δραστηριότητες λύσεις στα διάφορα εμπόδια που παρουσιάζονται.

Η προσπάθεια όλων όσων ασχολούνται με τα Έξυπνα Δίκτυα συμπυκνώνεται στο Διάγραμμα 4.1, το οποίο καταδεικνύει τη δυναμική που μπορεί να αποδώσουν στην παγκόσμια οικονομία τα Έξυπνα Δίκτυα. Μέσω σοβαρής έρευνας και συντονισμένης προσπάθειας, μπορούν να λυθούν προβλήματα που μέχρι χθες έμοιαζαν άλυτα, όπως είναι η κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας και η εισαγωγή της στο υπάρχον δίκτυο, η απελευθέρωση της αγοράς με δυνατότητα αντιστροφής της ροής ενέργειας από τους καταναλωτές προς το δίκτυο (negawatt) και η ενσωμάτωση εναλλακτικών πηγών ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα μέσα στο δίκτυο. Είναι, επίσης, σημαντικό να τονιστεί ότι μια τέτοια εξέλιξη φαίνεται πλέον οικονομικά βιώσιμη και ανταγωνιστική, ενώ παράλληλα βοηθά και στην προώθηση νέων επενδύσεων και κατάλληλων ρυθμιστικών πλαισίων, τα οποία θα συμβάλουν στην απρόσκοπτη ανάπτυξη και εξέλιξη των Έξυπνων Δικτύων, χωρίς γραφειοκρατικές καθυστερήσεις που βλάπτουν την εξελικτική πορεία του ενεργειακού τοπίου.



Διάγραμμα 4.1: Το τρίγωνο των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα Έξυπνα Δίκτυα [48]

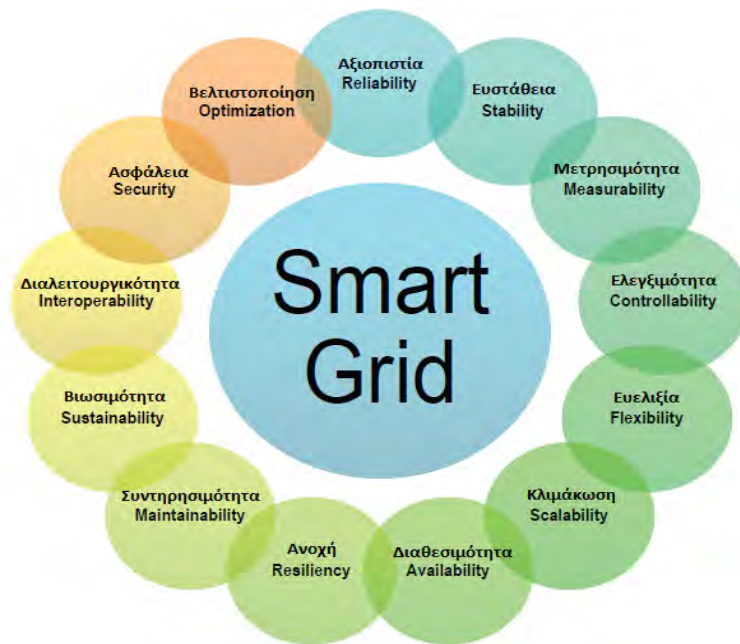
Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (Department Of Energy, DOE) προχώρησε ακόμα πιο πέρα ορίζοντας τους στόχους των Έξυπνων Δικτύων. Μερικοί από αυτούς είναι οι ακόλουθοι [41][49]:

- Διασφάλιση της αξιοπιστίας του Έξυπνου Δικτύου σε μεγαλύτερο βαθμό εκ των προτέρων.
- Βελτίωση της ποιότητας της ΗΕ.
- Διατήρηση της οικονομικής προσιτότητας.
- Ενίσχυση της παγκόσμιας ανταγωνιστικότητας.
- Καλύτερη αξιοποίηση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και αποφυγή κατασκευής πρόσθετων μονάδων παραγωγής για κάλυψη της ζήτησης των ωρών αιχμής.
- Αύξηση της χωρητικότητας και βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υπαρχόντων ηλεκτρικών δικτύων.
- Βελτιωμένη αντιμετώπιση των διακοπών.
- Δυνατότητα προληπτικής συντήρησης και αυτο-ίας (self-healing) του ΗΔ μετά από διακοπές.
- Πλήρης ενσωμάτωση ανανεώσιμων και παραδοσιακών πηγών ενέργειας.
- Ενσωμάτωση μέσων αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. plug-in ηλεκτρικά οχήματα), με στόχο τη μείωση της ζητούμενης εγκατεστημένης ισχύος.
- Αυτοματοποιημένη συντήρηση και λειτουργία.
- Δυναμική μείωση των εκπομπών άνθρακα.
- Αύξηση της ασφάλειας και της δυνατότητας επιτήρησης του δικτύου.
- Αύξηση των διαθέσιμων επιλογών των καταναλωτών και της διαδραστικής συμμετοχής τους στην αγορά ΗΕ.
- Εισαγωγή καινοτομιών που δεν έχει κανείς οραματιστεί ακόμα.

4.5 Χαρακτηριστικά στοιχεία του Έξυπνου Δικτύου

Το Ευφυές Δίκτυο αναμένεται να αλλάξει ολόκληρο το επιχειρησιακό μοντέλο της ενεργειακής βιομηχανίας με άμεσα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη όχι μόνο για τους τελικούς καταναλωτές αλλά και για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, τις ρυθμιστικές αρχές, τους παρόχους ενεργειακών υπηρεσιών και τους προμηθευτές τεχνολογίας.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που καλείται να έχει ένα Έξυπνο Δίκτυο φαίνονται σχηματικά στην Εικόνα 4.5. Παρατηρούμε ότι διασυνδέονται με μια στενή σχέση αιτίου-αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός Έξυπνου Δικτύου. [50]



Εικόνα 4.5: Βασικά χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου [50]

Παρακάτω αναλύονται τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου [50][51]:

➤ **Αξιοπιστία (Reliability):**

Ο όρος «αξιοπιστία» αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε γενικές γραμμές, ερμηνεύει τη λειτουργική υγεία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του συστήματος. Επιπλέον, παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το Έξυπνο Δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Προηγμένες μέθοδοι ελέγχου που αξιοποιούν την πληροφορία των κέντρων δεδομένων και ανταποκρίνονται ταχύτερα σε σχέση με την ανθρώπινη παρέμβαση, παρακολουθούν τη ροή ενέργειας επιτρέποντας ταχεία διάγνωση και λύσεις για περιστατικά που έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα, όπως κεραυνοί, εσφαλμένοι χειρισμοί, υπερτάσεις, σφάλματα γραμμής και αρμονικές πηγές. Έτσι, με την αξιοπιστία μπορούμε να προλαμβάνουμε ή να ελαχιστοποιούμε την πιθανότητα να συμβεί μια διακοπή ή μία βλάβη, ενώ σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή να επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα.

➤ **Ευστάθεια (Stability):**

Η «ευστάθεια» ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που το χαρακτηρίζει. Το Έξυπνο Δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να εγγυάται σταθερότητα στην τάση και στο ρεύμα, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής (Distributed Generation, DG) και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις, καθώς και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά.

➤ **Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα (Measurability and Controllability):**

Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να είναι «μετρήσιμα» και «ελέγξιμα», έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν σκόπιμες εκτιμήσεις και αξιολογήσεις. Το Έξυπνο Δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Παράλληλα, θα πρέπει να υπάρχει κάποιος βαθμός παρατηρησιμότητας και διαφάνειας με στόχο την αποτελεσματική ανάλυση, διαχείριση, καθώς και την πρόβλεψη και αντίδραση στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου. Ο πλούτος πληροφοριών

των δεδομένων, που ουσιαστικά καθιστά το δίκτυο έξυπνο, πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμος, παρατηρήσιμος και διαχειρίσιμος.

➤ Ευελιξία (Flexibility):

Η «ευελιξία» επιτρέπει στο Έξυπνο Δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται. Παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διείσδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τα κλίματα, γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου, και δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα στυλ λειτουργίας της αγοράς και plug-and-play ικανότητα να φιλοξενήσει σταδιακή αναβάθμιση, με συστατικά υλικού και λογισμικού, της τεχνολογίας. Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που λειτουργούν στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

➤ Κλιμάκωση (Scalability):

Το δίκτυο κινείται από μια κεντρική δομή σε πολλαπλά αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Microgrids, MGs). Η «κλιμάκωση» του Έξυπνου Δικτύου είναι σημαντικό να οριστεί καλά. Μέσω της νησιδοποίησης (islanding), τα μικροδίκτυα προσπαθούν να ενσωματώσουν την καταναλωμένη παραγωγή (DG) και την αποθήκευση ενέργειας για να συνεισφέρουν ενέργεια στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιόδους ζήτησης αιχμής. Η λειτουργία της νησίδας εισάγει μια έννοια ενός γιγάντιου Έξυπνου Δικτύου που αποτελείται από πολλαπλά μικρά Έξυπνα Δίκτυα. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management, DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας.

➤ Διαθεσιμότητα (Availability):

Η «διαθεσιμότητα» της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση (latency) ή την ασφάλεια, είναι υψηλός. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής, η καθυστέρηση χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, αλλά μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service, DoS) μπορεί να επιδεινώσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες προσωρινά μη διαθέσιμες. Ο πλεονασμός (redundancy) θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από το πώς θα σχεδιαστεί το σύστημα για να αποφεύγει παράλληλα το επακόλουθο κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας δικτύου, καθώς και από το θέμα της κλιμάκωσης.

➤ Ανθεκτικότητα (Resiliency):

Ο βαθμός της «ανθεκτικότητας» καθορίζει πόσο πραγματικά αξιόπιστο είναι το Έξυπνο Δίκτυο όταν συμβαίνουν διάφορα περιστατικά. Γενικά, το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη σκοπιά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα αναπαριστά την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από τις οποιεσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτο-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμψει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα ηλεκτρικά στοιχεία είναι πιθανότατα οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Σχέδια έκτακτης ανάγκης απαιτούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

➤ Αυνατότητα συντήρησης (Maintainability):

Η «συντηρησιμότητα» αντανακλά ουσιαστικά τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Συνήθως δείχνει την ικανότητά του να εκτελεί αποτελεσματικά και αποδοτικά μια σειρά δράσεων για εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες που γίνονται ειδικά κατά τη συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το Έξυπνο Δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου και διαχείριση) να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Παρομοίως, η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, καθώς και των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

➤ Βιωσιμότητα (Sustainability):

Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από τη ζήτηση αιχμής καθιστούν κρίσιμη απαίτηση για τη λειτουργία του Έξυπνου Δικτύου μεταφοράς τη «βιωσιμότητα», η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

➤ Διαλειτουργικότητα (Interoperability):

Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη «διαλειτουργικότητα» που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του Έξυπνου Δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος, καθώς και την αποδοτικότητά.

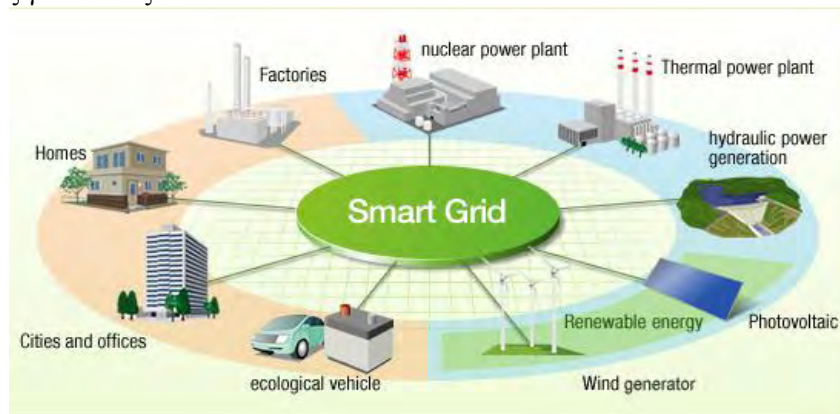
➤ Ασφάλεια (Security):

Η έννοια της «ασφάλειας» απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα, αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα υπάρχοντα μέτρα και εργαλεία ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το Έξυπνο Δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (Virtual Private Network, VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (Virtual Local Area Network, VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης.

➤ Βελτιστοποίηση (Optimization):

Η «βελτιστοποίηση» της λειτουργίας και των στοιχείων ενεργητικού του Έξυπνου Δικτύου είναι επιτακτική ανάγκη. Μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών και των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent Electronic Devices, IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμό. Το Έξυπνο Δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με τους όρους α) της αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, β) της αποδοτικότητας της μετατροπής και της χρήσης της ενέργειας, γ) της ποιότητας της παραγωγής και της διανομής ενέργειας, δ) της διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων, ε) της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών, στ) της χρονικής απόκρισης και της διαχείρισης σφαλμάτων, και ζ) του οικονομικού κέρδους. Εν τω μεταξύ, η μείωση του κόστους

κεφαλαίου, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η χρήση των πόρων είναι αποφασιστικής σημασίας για ένα Έξυπνο Δίκτυο.



Εικόνα 4.6: Σχηματική αναπαράσταση ενός Έξυπνου Δικτύου

Στα παραπάνω χαρακτηριστικά του Έξυπνου Δικτύου μπορούν να προστεθούν και τα ακόλουθα [33][41][51][52][53]:

➤ Ψηφιοποίηση (Digitalization):

Το Έξυπνο Δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς. Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Αυτή η πλατφόρμα χαρακτηρίζεται από φιλική προς το χρήστη απεικόνιση για ενημέρωση ευαίσθητων καταστάσεων, αλλά και από υψηλή ανοχή προς ανθρωπογενή λάθη.

➤ Ευφυΐα (Intelligence):

Ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία θα ενσωματωθούν στο Έξυπνο Δίκτυο μεταφοράς. Αυτο-επίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του συστήματος θα είναι διαθέσιμη με τη βοήθεια online ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, όπως ανάλυση της σταθερότητας τάσης/γωνίας και της ασφάλειας. Θα υπάρχει, επίσης, αυτο-θεραπεία για να ενισχύσει την ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς μέσω συντονισμένων σχημάτων προστασίας και ελέγχου.

➤ Αποδοτικότητα:

Το Έξυπνο Δίκτυο είναι ικανό να ανταποκριθεί στην αυξημένη ζήτηση των καταναλωτών χωρίς να χρειαστεί να κατασκευαστούν νέοι σταθμοί παραγωγής για την κάλυψη των αναγκών. Επιτρέπει την αποδοτικότερη αξιοποίηση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και χρήση της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας μέσω της μείωσης των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές αξιοποιώντας σε μεγαλύτερο βαθμό την τοπική, αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή. Επιπλέον, η αποδοτικότητα των υπαρχόντων στοιχείων του δικτύου βελτιστοποιείται με τη χρήση ειδοποιήσεων που σηματοδοτούν την ανάγκη για συντήρηση ή έγκαιρη αλλαγή του εξοπλισμού.

➤ Προσαρμογή (Customization):

Ο σχεδιασμός του Έξυπνου Δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το Έξυπνο Δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

➤ Αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας:

Το Ευφυές Δίκτυο αναμένεται να λειτουργεί με δυνατότητα αμφίδρομης ροής ενέργειας. Δηλαδή, το τοπικό δίκτυο αποστέλλει ενέργεια στο κύριο δίκτυο ή αντίστροφα, το κύριο δίκτυο τροφοδοτεί το τοπικό δίκτυο. Η αμφίδρομη επικοινωνία της ενεργειακής επιχείρησης με τους καταναλωτές συμβάλλει στην εξισορρόπηση

προσφοράς και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο και την εξομάλυνση των αιχμών. Τα κίνητρα που παρέχονται στους καταναλωτές προκειμένου να μεταβάλλουν τον τρόπο που αγοράζουν και χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια βασίζονται σε νέες τεχνολογίες, πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή τους χρήση και κυρίως νέες μορφές τιμολόγησης. Έτσι, οι καταναλωτές καθίστανται ενεργοί συμμετέτοχοι στην παραγωγή και την κατανάλωση ηλεκτρισμού προσαρμόζοντας την ενεργειακή τους χρήση με βάση τις ειδικές ανάγκες τους, τις προτιμήσεις τους και την τιμή. Επιπλέον, ενισχύει την διαχείριση της ζήτησης (DSM) από τους διαχειριστές του συστήματος που μπορούν να ελέγχουν με ευκολία τα διαθέσιμα φορτία, καθώς το σύστημα αποκτά ευελιξία και προσαρμοστικότητα.

➤ Ημιαυτονομία:

Με τη χρησιμοποίηση έξυπνων συστημάτων (εξελιγμένοι αισθητήρες) και την παρακολούθηση του δικτύου ενεργοποιείται η απόκριση σε ερεθίσματα, με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση.

➤ Αξιοποίηση του εξοπλισμού του συστήματος ενέργειας με τον βέλτιστο τρόπο:

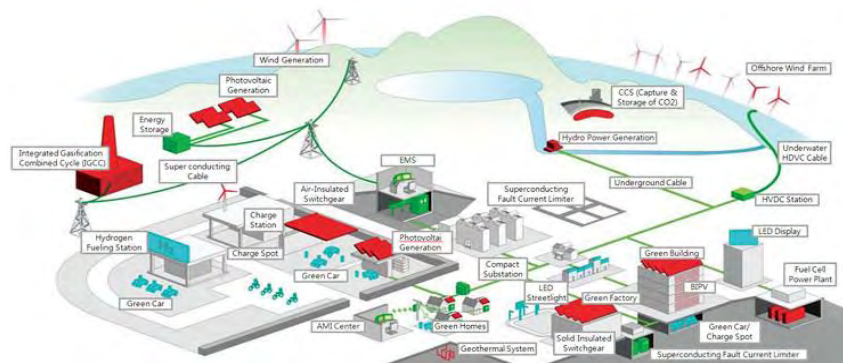
Η αξιοπιστία του δικτύου ενισχύεται και αναβάλλονται επεκτάσεις των δικτύων μεταφοράς και η κατασκευή επιπλέον σταθμών παραγωγής μέσω στρατηγικών απόκρισης που βελτιστοποιούν τη ροή ισχύος μεταξύ των υφιστάμενων δικτύων. Εξαιτίας της δυνατότητας επικοινωνίας κατά τις ώρες αιχμής και την πιθανή απόκριση του καταναλωτή σε σήματα που φέρουν πληροφορίες για αυξημένες τιμές, το επίπεδο μέγιστης ζήτησης μειώνεται και ως επακόλουθο μειώνεται η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από τις ακριβότερες μονάδες.

➤ Ενσωμάτωση διαφόρων μορφών ενέργειας:

Αξιοποιεί την ενέργεια που προέρχεται από οποιαδήποτε μορφή καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων της ηλιακής και της αιολικής, εξίσου εύκολα και αποδοτικά με τον άνθρακα και το φυσικό αέριο. Ένα Ευφυές Δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τη διακοπόμενη φύση των ανανεώσιμων πηγών, όπως για παράδειγμα τις αυξομειώσεις του ρεύματος όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται ή τα σύννεφα κρύβουν τον ήλιο. Επιπλέον, εκτός από μεγάλες, κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας ενσωματώνει και μικρότερες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, παρέχει τη δυνατότητα συμπαραγωγής ενέργειας και θερμότητας, αλλά και διατάξεις αποθήκευσης.

➤ Υποστήριξη της διείσδυσης της διανεμημένης παραγωγής στο υπάρχον συμβατικό σύστημα παραγωγής:

Βελτιωμένη επικοινωνία και προηγμένες τεχνολογίες μέτρησης δίνουν την δυνατότητα για έξυπνη ενσωμάτωση της διανεμημένης παραγωγής. Αυτό προτρέπει τους καταναλωτές (οικιακούς, εμπορικούς, βιομηχανικούς) να επανεκτιμήσουν την πιθανότητα εγκατάστασης εξοπλισμού τοπικής παραγωγής ενέργειας στο χώρο τους. Έτσι, ο καταναλωτής μετατρέπεται σε παραγωγό και καταναλωτή ηλεκτρικής ενέργειας ταυτόχρονα (prosumer).



Εικόνα 4.7: Σχηματικό διάγραμμα μιας «έξυπνης» πόλης

➤ Καθαρότητα:

Το Ευφυές Δίκτυο επιβραδύνει την επέλευση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής προσφέροντας διέξοδο προς τη πράσινη ενέργεια. Η ενίσχυση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών, η καθιέρωση των ηλεκτρικών οχημάτων (Plug-in Electric Vehicles,

PEVs) και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω της αμφίδρομης επικοινωνίας αποτελούν τα κύρια βήματα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής έχοντας παράλληλα σημαντική οικονομική και πολιτική διάσταση.

➤ Δημιουργία νέων οικονομικών ευκαιριών:

Ενσωματώνει νέα προϊόντα και υπηρεσίες και ενισχύει τον ανταγωνισμό, παρέχοντας τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν μεταξύ ανταγωνιστικών υπηρεσιών και να συμμετέχουν ενεργά στην προσαρμογή των τιμών. Επιπλέον, τα ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα αναμένεται να δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίες και να προσφέρουν πρόσθετη οικονομική ανάπτυξη κυρίως στην αγορά των ευφυών οικιακών συσκευών που προβλέπεται να αυξηθεί παγκοσμίως, και στον τομέα των επενδύσεων για την αξιοποίηση συστημάτων έξυπνης μέτρησης και την αναβάθμιση του υπόλοιπου δικτύου.

➤ Αυτόνομη ανάρρωση δικτύου (self-healing):

Αυτόνομη ανάρρωση σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να ανακατευθύνει και να αναπροσαρμόσει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στην περίπτωση που ένα μονοπάτι μετάδοσης διακοπεί. Αυτό επιτυγχάνεται με συνεχή αυτοεκτίμηση της κατάστασης του συνολικού δικτύου. Σαν αποτέλεσμα μπορεί να μειωθεί η συχνότητα και η διάρκεια διακοπών ρεύματος.

➤ Αποθήκευση ενέργειας:

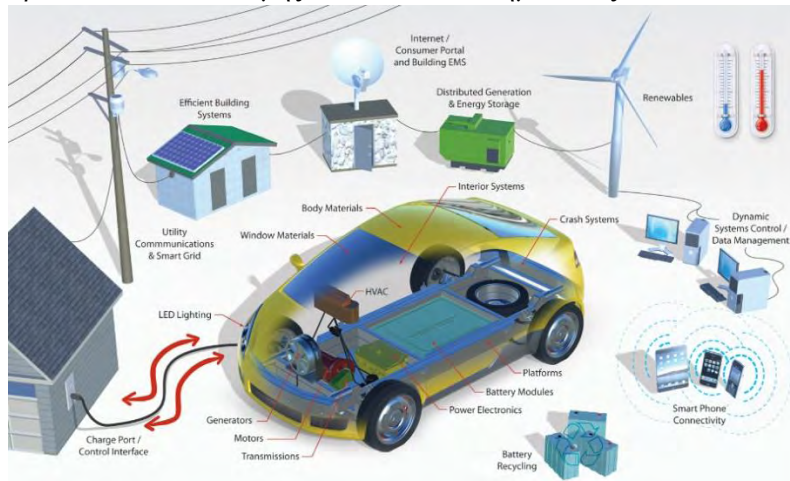
Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας συμβάλλουν στην αύξηση της αποδοτικότητας της διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύριος στόχος της ανάπτυξης και εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών είναι η δημιουργία ενός «αποθέματος ηλεκτρικής ενέργειας», που ωφελεί: α) την ευστάθεια της αγοράς ενέργειας, β) την ευστάθεια των δικτύων μεταφοράς και διανομής, αφού μπορεί να βοηθήσει στην εξάλειψη σφαλμάτων και βραχυχρόνιων διαταραχών, καθώς επίσης μπορεί να μειώσει τις ανάγκες του συστήματος για στρεφόμενη εφεδρεία και γ) αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ευρεία διείσδυση των ΑΠΕ με σποραδική διαθεσιμότητα και στη βελτιστοποίηση των εφαρμογών τους, κυρίως στα αιολικά πάρκα. Για παράδειγμα, σε περιόδους χαμηλής ζήτησης -κατά την διάρκεια της νύχτας- η περίσσεια της παραγόμενης ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί και να αξιοποιηθεί σε περιόδους υψηλής ζήτησης εξομαλύνοντας τις καμπύλες παραγωγής φορτίου. Δηλαδή, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας σε συνδυασμό με εφαρμογές DSM, που στοχεύουν στη μείωση των αιχμών ζήτησης φορτίου, θα οδηγήσουν στην αποδοτικότερη λειτουργία συμβατικών σταθμών και ΑΠΕ.

➤ Ηλεκτρικά οχήματα (Plug-in Electric Vehicles, PEVs):

Τα ηλεκτρικά οχήματα συνδυάζουν την υψηλής τεχνολογίας αυτοκίνηση με τα συστήματα μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας που επαναφορτίζονται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ενσωμάτωση των PEVs στα δίκτυα οι εταιρείες παροχής ενέργειας πρέπει να διαχειριστούν μεγάλο μέγεθος αριθμούς διανεμημένων συσκευών με αμφίδρομη ροή ενέργειας. Τα PEVs πρέπει να θεωρούνται καθοριστικά τεχνολογικά εργαλεία του μέλλοντος, αφού είναι πιο οικολογικά από τα συμβατικά οχήματα και η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ως μονάδες κατανάλωσης και αποθήκευσης ενέργειας θα καθορίσει τη μορφή του δικτύου σε μεγάλο βαθμό.

Η σύνδεση των PEVs για κατανάλωση/αγορά και παροχή/πώληση ενέργειας προϋποθέτει ότι το δίκτυο υποστηρίζει τις απαραίτητες τεχνολογίες αμφίδρομης ροής ισχύος και εμπορικές εφαρμογές αγοραπωλησίας ενέργειας. Πιο αναλυτικά, αυτό σημαίνει μπαταρίες αυτοκινήτου, σημεία φόρτισης, σταθμούς και εφαρμογές αγοραπωλησίας, καθώς και ευφυείς μετρητές, συστήματα ανταλλαγής δεδομένων και το αντίστοιχο λογισμικό, διαδικτυακές εφαρμογές για τους καταναλωτές με διεπαφές λογισμικού φιλικές προς το χρήστη. Επιπλέον, για τα Ευφυή Δίκτυα, η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ευκαιρία και πρόκληση, καθώς μπορούν να αποθηκεύσουν συνολικά σημαντικά ποσά ενέργειας. Οι μπαταρίες τους μπορούν να φορτίζονται κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η ζήτηση φορτίου είναι χαμηλή και να επιστρέφουν την ενέργεια στο δίκτυο σε περιόδους υψηλής ζήτησης, ή να ενεργούν ως εφεδρεία. Η σύνδεση των οχημάτων με το δίκτυο και η τροφοδοτήσή του από αυτά αναφέρεται με τον όρο Vehicle to Grid (V2G). Αν ξεπεραστούν τα τεχνικά, κυρίως,

εμπόδια και αναπτυχθούν οι εφαρμογές V2G σε ευρεία κλίμακα, οι επιπτώσεις στα ΣΗΕ, και ιδιαίτερα στο δίκτυο διανομής, θα είναι πολύ σημαντικές.



Εικόνα 4.8: Σχηματικό διάγραμμα μίας μελλοντικής «έξυπνης» κοινωνίας

4.6 Ποιοι επηρεάζονται από τα Έξυπνα Δίκτυα

Καθώς τα δίκτυα εξελίσσονται και οι αγορές απελευθερώνονται, ένα ευρύ φάσμα φορέων εμπλέκονται στο μέλλον της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, αναφέρεται ποιοι επηρεάζονται από την τεχνολογία των Έξυπνων Δικτύων και με ποιον τρόπο εμπλέκονται σε αυτή [48]:

- **Καταναλωτές:** Οι βασικές ανάγκες των καταναλωτών είναι η ποιότητα των υπηρεσιών και ο υπολογισμός των χρημάτων που θα πληρώσουν. Στα επόμενα χρόνια, οι καταναλωτές θα απαιτούν να εμπλέκονται όλο και περισσότερο στην όλη διαδικασία της παραγωγής και της κατανάλωσης του ηλεκτρισμού. Έτσι, το σύνολο των αναγκών τους θα διερευνηθεί και θα περιλαμβάνει, επιπλέον, υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (value added services), υπηρεσίες κατ' απαίτηση (services on-demand) και πλήρη συνδεσιμότητα με το δίκτυο. Θα υπάρχει ζήτηση για σύνδεση της κατ' οίκον παραγωγής (in-house generation) και δυνατότητα πώλησης της περίσσειας της ιδιοπαραγωγής, ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο των οικονομικών μεγεθών της ενέργειας (real time pricing and tariffs) και ελευθερία όσον αφορά την επιλογή του παρόχου.
- **Διαχειριστές ηλεκτρικών δικτύων:** Οι διαχειριστές των δικτύων θα πρέπει να εγγυώνται την ποιότητα της ενέργειας και την ασφάλεια του συστήματος. Βασική προϋπόθεση έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ανάπτυξη του δικτύου είναι να γίνουν οι κατάλληλες επενδύσεις από αυτούς. Οι προσδοκίες των πελατών θα πρέπει να ικανοποιηθούν με έναν αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο, ενώ την ίδια στιγμή η αμοιβή των μετόχων τους θα πρέπει να παραμείνει σε ικανοποιητικά επίπεδα.
- **Εταιρείες παροχής υπηρεσιών ενέργειας:** Καθώς οι ανάγκες των χρηστών αυξάνονται συνεχώς, οι εταιρείες υπηρεσιών ενέργειας θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις ανάγκες των πελατών τους. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να απλοποιήσουν τον τρόπο ενημέρωσης σχετικά με θέματα οικονομίας και αποταμίευσης, καθιστώντας πιο εύκολο για τους πελάτες να επιλέξουν τον καλύτερο τρόπο χρήσης του δικτύου.
- **Παροχείς τεχνολογίας:** Όλη αυτή η μετατροπή στα δίκτυα ηλεκτροδότησης δημιουργεί φυσικά την ανάγκη για νέο τεχνολογικό εξοπλισμό. Οι κατασκευαστές εξοπλισμού αναλαμβάνουν τον σημαντικό ρόλο ανάπτυξης καινοτόμων λύσεων. Πρέπει να συνεργαστούν αποτελεσματικά με τις εταιρείες δικτύου, οι οποίες με τη σειρά τους πρέπει να λάβουν σημαντικές αποφάσεις επενδύσεων. Το αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας είναι να διασφαλιστεί η ανοιχτή πρόσβαση και η μακροπρόθεσμη ενσωμάτωση στην υπάρχουσα υποδομή.
- **Ερευνητική κοινότητα:** Οι ερευνητές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο, αφού χωρίς επιστημονική έρευνα δεν υπάρχει καινοτομία και χωρίς καινοτομία δεν υπάρχει πρόοδος και ανάπτυξη. Έτσι, για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών θα πρέπει να συνεργαστούν

[illegible]

- Παραγωγοί ενέργειας: Οι εταιρείες παραγωγής θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις όποιες αλλαγές γίνονται στο δίκτυο. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν και να συνεχίσουν έχοντας υπ' όψιν ότι πρέπει να είναι ικανοί να συνεργαστούν με το νέο σύστημα δικτύου.
- Κυβερνητικοί οργανισμοί: Οι κυβερνήσεις και τα νομοθετικά όργανα θα πρέπει να διαμορφώσουν κατάλληλες νομοθετικές ρυθμίσεις για να εφαρμόσουν τις πολιτικές τους, λαμβάνοντας υπόψη πιθανούς αντικρουόμενους στόχους των πολιτικών αυτών. Οι τιμές της ενέργειας αναμένεται να μειωθούν, αλλά τα κόστη ίσως αυξηθούν λόγω των πιο φιλικών προς το περιβάλλον στοιχείων που θα αναμειχθούν.

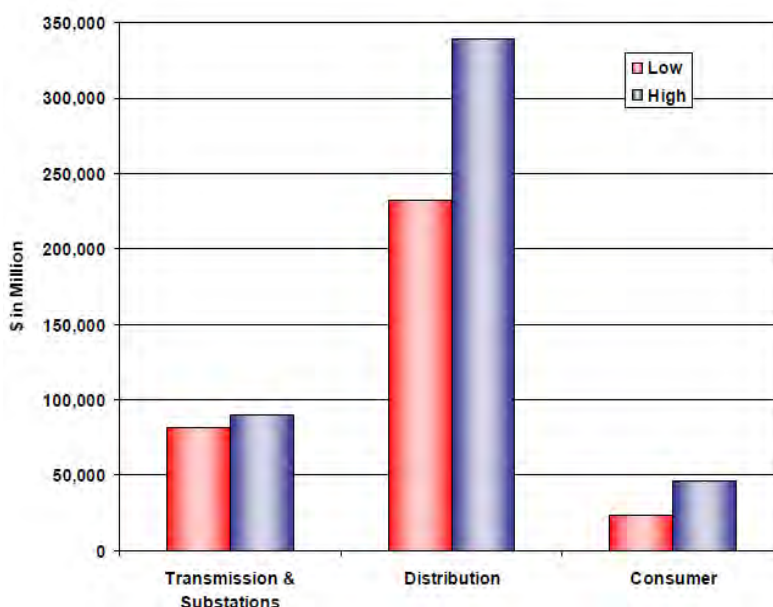
4.7 Το κόστος του Έξυπνου Δικτύου

57

μεγάλες δαπάνες προκειμένου να ικανοποιηθεί η αύξηση του φορτίου και να επιτραπεί η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

Costs to Enable a Fully Functioning Smart Grid (\$M)		
	Low	High
Transmission and substations	82,046	90,413
Distribution	231,960	339,409
Consumer	23,672	46,368
Total	337,678	476,190

Πίνακας 4.2: Το συνολικό κόστος του Έξυπνου Δικτύου [131]



Διάγραμμα 4.3: Το συνολικό κόστος του Έξυπνου Δικτύου [131]

Στον Πίνακα 4.2 και στο Διάγραμμα 4.3 δίνεται μία εκτίμηση του συνολικού κόστους που απαιτείται για να καταστεί δυνατή η πλήρης λειτουργία του Έξυπνου Δικτύου (σύμφωνα με το Electric Power Research Institute, EPRI). Δίνονται δύο εκτιμήσεις του κόστους λειτουργίας του Έξυπνου Δικτύου, μία χαμηλή, που αντιστοιχεί στο μικρότερο κόστος που απαιτείται για την εφαρμογή του ΕΔ, και μία υψηλή εκτίμηση, που αντιστοιχεί στο υψηλότερο κόστος που απαιτείται για την υλοποίησή του. Παρατηρούμε, λοιπόν, πώς σύμφωνα με τη χαμηλή εκτίμηση, οι επενδύσεις που χρειάζονται να γίνουν τόσο για τη μεταφορά και τους υποσταθμούς, όσο και για τη διανομή, αλλά συμπεριλαμβάνοντας και τις επενδύσεις που απαιτούνται να γίνουν από μέρους των καταναλωτών, είναι περίπου \$337.678.000, ενώ οι αντίστοιχες επενδύσεις που απαιτούνται σύμφωνα με την υψηλή εκτίμηση είναι περίπου \$476.190.000.

Ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζει συνοπτικά μία προσπάθεια του EPRI να απεικονίσει τις επιπτώσεις που θα έχει στους καταναλωτές η παραπάνω εκτίμηση του κόστους εφαρμογής του Έξυπνου Δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, οι δαπάνες που απαιτούνται για την πλήρη λειτουργία του ΕΔ κατανέμονται στον Πίνακα σε κατηγορίες ενέργειας (Οικιακή-Εμπορική-Βιομηχανική) και στη συνέχεια υπολογίζεται: (α) το συνολικό κόστος του ΕΔ διαιρούμενο με τον αριθμό των καταναλωτών για κάθε κατηγορία (μία ενδεικτική εφάπαξ πληρωμή), (β) το συνολικό κόστος ανά πελάτη ανά έτος ανά κατηγορία για 10 χρόνια και για απόσβεση 10 ετών του κόστους του ΕΔ (σε ονομαστικές τιμές, δηλαδή, όχι η παρούσα αξία) και (γ) το μηνιαίο ισοδύναμο του ετήσιου αναπόσβεστου κόστους. Όσον αφορά την τελευταία στήλη του Πίνακα, υπολογίστηκε το αντίστοιχο ποσοστό αύξησης του μηνιαίου λογαριασμού του μέσου καταναλωτή.

Smart Grid Cost to Consumers – Allocated by Annual kWh (a)								
Class	\$ /Customer Total Cost (b)		\$ /Customer-Year, 10-Yr Amortization (c)		\$ /Customer-Month, 10-Yr Amortization (d)		% Increase in Monthly Bill, 10-Yr Amort (e)	
	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
	\$ /Customer	\$ /Customer	\$ /Cust/yr	\$ /Cust/yr	\$ /Cust/Month	\$ /Cust/Month	Low	High
Residential	\$1,033	\$1,455	\$103	\$145	\$9	\$12	8.4%	11.8%
Commercial	\$7,146	\$10,064	\$715	\$1,006	\$60	\$84	9.1%	12.8%
Industrial	\$107,845	\$151,877	\$10,785	\$15,188	\$899	\$1,266	0.01%	1.6%

(a) LOW refers to EPRI low estimate of \$ total SG costs; HIGH is the other SG cost. Customer numbers by class (residential, commercial industrial) are for 2009 from EIA. SG costs are allocated to customer classes based on 2009 kWh sales (38 %residential; 37% Commercial; 25% industrial).

(b) Total SG cost divided by customers for each segment (residential +commercial+ industrial).

(c) Annual cost per customer per year for total SG cost spread out (amortized) equally over 10 years (nominal values).

(d) Annual cost per customer per month for total SG cost spread out (amortized) equally over 10 years (nominal values).

(e) Annual increase in monthly bill for based on (d).

Πίνακας 4.3: Πιθανές επιπτώσεις στους καταναλωτές της εκτίμησης του κόστους του Έξυπνου Δικτύου σύμφωνα με το EPRI [131]

Στην πράξη, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν πιο πολύπλοκοι μέθοδοι κατανομής του κόστους, που θα μετατόπιζαν το κόστος μεταξύ των κατηγοριών. Ο υπολογισμός αυτός προϋποθέτει ότι οι δαπάνες του ΕΔ εξισώνονται από τους καταναλωτές σε όλη τη χώρα. Ωστόσο, το κόστος του ΕΔ ανά πελάτη είναι πιθανό να ποικίλλει σημαντικά, και ως εκ τούτου, το συνολικό εκτιμώμενο κόστος του ΕΔ μπορεί να είναι πιο υψηλό σε ορισμένες περιοχές, στις οποίες κατ' επέκταση και το κόστος ανά πελάτη θα είναι πιο αυξημένο, ενώ σε άλλες περιοχές μπορεί να είναι λίγο πιο μικρότερο. [131]

4.8 Τα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου

Η αναβάθμιση του σημερινού ηλεκτρικού δικτύου και η υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου είναι ικανή να επιλύσει πολλά από τα προβλήματα του σημερινού συστήματος ΗΕ, αλλά και να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο λειτουργίας της αγοράς ΗΕ παγκοσμίως. Οι αλλαγές τις οποίες είναι ικανή να επιφέρει η αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου δεν περιορίζονται στην εξοικονόμηση πόρων, αλλά βελτιώνουν τη συνολική ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών στους καταναλωτές. Η εφαρμογή της νέας αυτής τεχνολογίας αναμένεται να επιφέρει σημαντικά οφέλη στις μελλοντικές κοινωνίες. Κάποια οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση των Ευφύων Δικτύων είναι τα ακόλουθα [54][55][56][57]:

✓ Αυτόματη Αναγνώριση Μετρητή:

Με την αυτόματη αναγνώριση μετρητή, η ΔΕΗ θα είναι σε θέση να γνωρίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση ενέργειας κάθε οικίας, επιχείρησης, βιομηχανίας, κ.λπ. Αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί τεράστιο όφελος και εξοικονόμηση οικονομικών και ανθρώπινων πόρων για τη ΔΕΗ, αφού σήμερα η ΔΕΗ απασχολεί σημαντικό τμήμα του ανθρώπινου δυναμικού της για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας στους μετρητές ή υποθέτει ένα ποσό κατανάλωσης με βάση στατιστικά δεδομένα και σε επόμενους λογαριασμούς διορθώνει τις αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Αυτό το γεγονός μειώνει την αξιοπιστία της ΔΕΗ και προβληματίζει τους πελάτες ως προς το ύψος των λογαριασμών τους.

✓ Σύνδεση/Αποσύνδεση Υπηρεσίας:

Εκτός από την αυτόματη αναγνώριση μετρητή, υπάρχει και η αυτοματοποιημένη υπηρεσία σύνδεσης/αποσύνδεσης. Η εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας αυτήν την υπηρεσία θα είναι σε θέση να κάνει άμεσα μια καινούργια σύνδεση ή να διακόψει μια ήδη λειτουργούσα σύνδεση. Η βελτιωμένη αυτή υπηρεσία θα επιφέρει τη μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης των πελατών της εταιρείας.

✓ Βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος που προσφέρεται στον καταναλωτή:

Η καταγραφή των ποιοτικών μεγεθών παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας (τάση, συχνότητα, κ.ά.), θα έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή κάποιων ανωμαλιών ή περιστατικών (π.χ. πτώσεων ή αιχμών τάσης). Τα επιτρεπτά όρια π.χ. της τάσης του

ρεύματος, είναι καταγεγραμμένα στην κείμενη νομοθεσία. Σε περίπτωση ανωμαλιών που οδηγούν σε υλικές ζημιές στις συσκευές του καταναλωτή, θα μπορεί ο καταναλωτής να καταγγείλει τον Διαχειριστή του Δικτύου για την ποιότητα του ρεύματος που προμηθεύεται. Επομένως, η χρήση των Έξυπνων Μετρητών προστατεύει τα δικαιώματα των καταναλωτών, με αποτέλεσμα να βελτιωθεί η ποιότητα του προϊόντος που τους προσφέρεται από τον Διαχειριστή του Δικτύου.

✓ **Βελτίωση των υπηρεσιών που προσφέρονται στον καταναλωτή:**

Όσον αφορά την απλή διαδικασία για την αναφορά παραπόνων και την παροχή στοιχείων κατανάλωσης τακτικά από τους Προμηθευτές στους καταναλωτές, με το Πληροφοριακό Σύστημα κάθε καταναλωτής θα έχει δυνατότητα από την ιστοσελίδα του Προμηθευτή μέσω διαβαθμισμένης πρόσβασης:

- Να βλέπει τα ιστορικά στοιχεία των ωριαίων καταναλώσεών του. Ο καταναλωτής θα έχει άμεσα διαθέσιμη ενημέρωση για την κατανάλωσή του (σε ωριαία βάση) κατά τα τελευταία έτη, μέσω ειδικά διαμορφωμένων αναφορών. Η πληροφορία αυτή θα βοηθά τον καταναλωτή να κάνει βέλτιστη διαχείριση της κατανάλωσής του, με άμεσο επακόλουθο την εξοικονόμηση ενέργειας.
- Να υποβάλλει γραπτά ένα δελτίο παραπόνων.
- Να έχει online τεχνική υποστήριξη σε περίπτωση προβλήματος ή βλάβης της ηλεκτρικής του εγκατάστασης.
- Να έχει τη δυνατότητα να πληρώνει τους λογαριασμούς του ηλεκτρονικά, μέσω «Κωδικού Ηλεκτρονικής Πληρωμής» ή με πιστωτική κάρτα.

✓ **Εκτίμηση της ζήτησης και μεταβολή της τιμής σε πραγματικό χρόνο:**

Το σημερινό δίκτυο ΗΕ στηρίζεται στη μέτρηση της κατανάλωσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η κατανάλωση, μετρημένη σε kWh, πολλαπλασιάζεται με την τιμή ανά kWh και έτσι υπολογίζεται το ποσό το οποίο οφείλει να πληρώσει ο καταναλωτής στην επιχείρηση ηλεκτρισμού. Η τιμή της kWh είναι σε γενικές γραμμές σταθερή (με μόνη εξαίρεση την ύπαρξη ειδικών τιμολογίων, όπως το νυχτερινό). Με την εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών και του ΕΔ, το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία των έξυπνων μετρητών με την επιχείρηση ηλεκτρισμού, η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει. Το ΕΔ παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερο θετικό στοιχείο ικανό να προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο στους παραγωγούς όσο και στους καταναλωτές και την κοινωνία.

Κάθε καταναλωτής είναι δυνατό να γνωρίζει την ενέργεια που χρησιμοποιεί κάθε στιγμή, καθώς και τις συσκευές στις οποίες διοχετεύεται αυτή η ενέργεια. Επίσης, τα δεδομένα κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο θα μπορούν να αποτυπωθούν στην οθόνη του υπολογιστή ή στην τηλεόραση του καταναλωτή, ώστε να γνωρίζει την επίδραση κάθε διαφορετικής συσκευής στην κατανάλωσή του. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να μετατραπούν σε κόστος ενέργειας και σε εκτίμηση εκπομπής ρύπων (CO₂), ώστε να γνωρίζει άμεσα ο καταναλωτής τις περιβαλλοντικές συνέπειες της χρήσης της ενέργειας. Το γεγονός αυτό θα βελτιώσει την περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών. Συνεπώς, ο καταναλωτής θα μπορεί να διαχειρίζεται τις οικιακές συσκευές με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, έτσι ώστε να μειώνεται η κατανάλωση και η χρέωση.



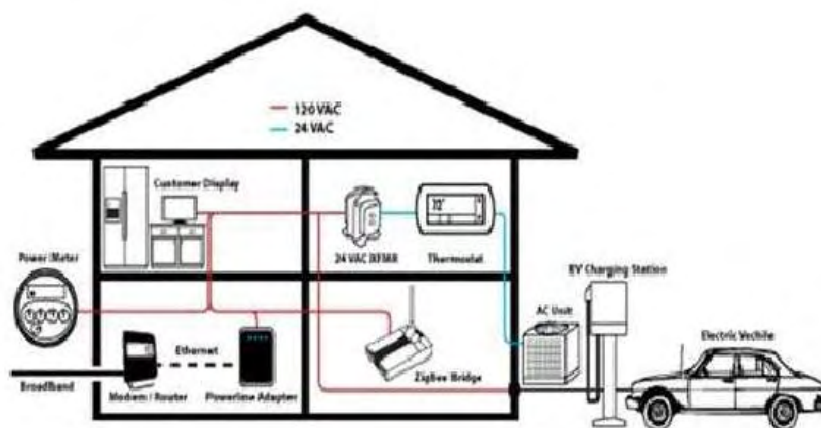
Εικόνα 4.9: Ψηφιακή οθόνη καταναλωτή εντός σπιτιού

Επιπλέον, η επιχείρηση ηλεκτρισμού μπορεί να μεταβάλλει δυναμικά κατά τη διάρκεια της ημέρας την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυξάνοντας την τιμή του ρεύματος κατά τις ώρες μεγάλης ζήτησης, όπως το μεσημέρι (ώρες αιχμής), και μειώνοντάς την κατά τις ώρες χαμηλότερης ζήτησης, ο καταναλωτής θα μεταβάλλει τη συμπεριφορά του ώστε να χρησιμοποιεί τις ενεργοβόρες συσκευές, σε χρονικές περιόδους κατά τις οποίες η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η μείωση της κατανάλωσης στις ώρες αιχμής και η μετακύλιση της κατανάλωσης αυτής σε ώρες κατά τις οποίες η επιχείρηση ηλεκτρισμού μπορεί ευκολότερα να καλύψει τη ζήτηση.

Στο Έξυπνο Δίκτυο αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων εφαρμογών που να είναι προγραμματισμένες, έτσι ώστε να λειτουργούν σε ώρες εκτός αιχμής. Για παράδειγμα, εφόσον η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή (κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο), μπορεί ο Έξυπνος Μετρητής (που λαμβάνει την πληροφορία αυτή από το Πληροφοριακό Σύστημα του Προμηθευτή) να δώσει εντολή κατανάλωσης π.χ. στο ψυγείο του καταναλωτή, ώστε να μη χρειαστεί να λειτουργήσει αργότερα που η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ενδεχομένως να είναι υψηλή. Αντίστροφα, εφόσον η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή (πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο), μπορεί ο Έξυπνος Μετρητής να δώσει εντολή παύσης κατανάλωσης, π.χ. στο κλιματιστικό του καταναλωτή (χωρίς, φυσικά, μεγάλο αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής του καταναλωτή).

Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται και η κατασκευή νέων μεγάλων μονάδων παραγωγής, χρήσιμων μόνο για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών που παρουσιάζονται για μικρή χρονική διάρκεια κάθε ημέρα. Σημαντικό είναι, επίσης, και το όφελος για τον καταναλωτή λόγω των μικρότερων χρεώσεων τις οποίες μπορεί με αυτόν τον τρόπο να έχει.

Έτσι, με τη δυναμική μεταβολή των τιμών της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας δημιουργείται στην ουσία ένα χρηματιστήριο HE. Ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση, κάθε παραγωγός επιλέγει αν και πότε θα διαθέσει την HE την οποία παράγει στο σύστημα διανομής. Ομοίως, κάθε καταναλωτής επιλέγει αν και πότε θα καταναλώσει την ενέργεια την οποία χρειάζεται.



Εικόνα 4.10: Οικία με εσωτερικό HAN, αυτόματο μετρητή και εφαρμογές του Έξυπνου Δικτύου

✓ Δυνατότητα χρήσης «προηγμένων» τιμολογιακών πακέτων:

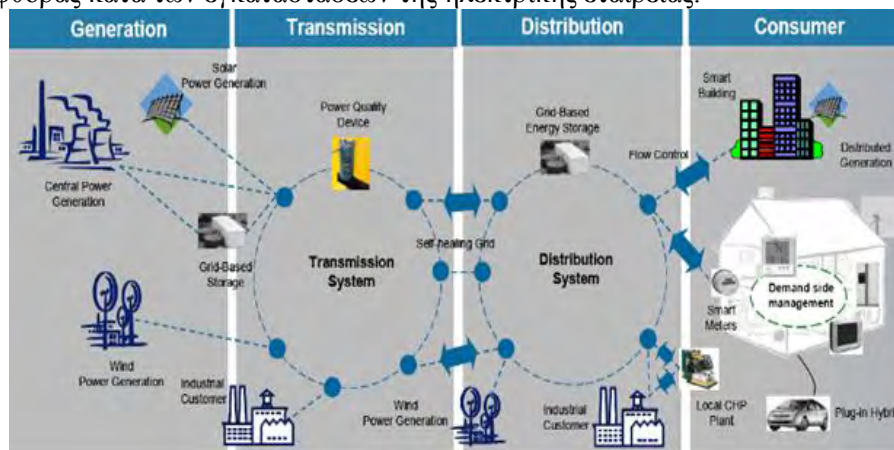
Οι υπηρεσίες των Έξυπνων Μετρητών θα διευρυνθούν ώστε να λαμβάνουν υπόψη «προηγμένα» τιμολογιακά πακέτα που τους προσφέρονται από τους Προμηθευτές. Για παράδειγμα, θα έχουν δυνατότητα προ-πληρωμένης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας (καρτο-ενέργεια) χωρίς πάγια χρέωση. Έτσι, κάθε καταναλωτής θα γνωρίζει πόσο έχει καταναλώσει και πόση ηλεκτρική ενέργεια του απομένει ακόμη. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη σε κατοικίες με μικρό χρονικό διάστημα χρήσης κατά τη διάρκεια του έτους, όπως π.χ. οι εξοχικές κατοικίες στην Ελλάδα.

- ✓ Δυνατότητα εύκολης εναλλαγής των πακέτων χρέωσης:
Ο πελάτης θα έχει τη δυνατότητα εύκολα να κάνει αλλαγή του πακέτου χρέωσης, π.χ. από ένα απλό πακέτο με πάγια χρέωση σε ένα πακέτο καρτο-ενέργειας χωρίς πάγια χρέωση, μέσω απομακρυσμένης διαχείρισης του μετρητή από τον Προμηθευτή.
- ✓ Μείωση του λειτουργικού κόστους της εταιρείας:
Από την αυτοματοποίηση των διαδικασιών εκκαθάρισης και τιμολόγησης των Πελατών ΧΤ (σε μηνιαία βάση για όλους του καταναλωτές ΧΤ) θα μειωθεί το λειτουργικό κόστος της εταιρείας για τη διαχείριση των Πελατών ΧΤ.
- ✓ Μείωση του κόστους των απωλειών του συστήματος μεταφοράς: Σε ένα Έξυπνο Δίκτυο υπάρχει μείωση στο κόστος των απωλειών του συστήματος μεταφοράς.
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας:
Μέσω της βελτίωσης της καταναλωτικής συμπεριφοράς των καταναλωτών αναμένεται ότι θα επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας κατά περίπου 5% - 15%.
- ✓ Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης:
Τα Έξυπνα Δίκτυα μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση στο δίκτυο ΗΕ, καθώς σε αυτά ενσωματώνονται προηγμένες τεχνολογίες πληροφοριών (IT) και πλήθος έξυπνων συσκευών. Η κατασκευή συστημάτων διαχείρισης και ελέγχου έξυπνου ενεργειακού εξοπλισμού, τα οποία παρακολουθούν αδιάκοπα και προσαρμόζουν αυτόν τον εξοπλισμό, προσφέρει σημαντικά ενεργειακά οφέλη.
- ✓ Αύξηση της αξιοπιστίας:
Το Έξυπνο Δίκτυο εμποδίζει αυτόματα διακοπές και βελτιώνει την ανίχνευση υπερφορτίσεων στις γραμμές και λαθών. Με αυτόν τον τρόπο δίνει στην προμήθεια ΗΕ έναν πιο αξιόπιστο χαρακτήρα.
- ✓ Μειωμένες απώλειες:
Το Έξυπνο Δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί την τάση και συμβάλλει με αυτόν τον τρόπο στη μείωση των απωλειών οι οποίες παρατηρούνται, καθώς η ΗΕ οδεύει στις γραμμές μεταφοράς και διανομής.
- ✓ Μείωση του κινδύνου εμφάνισης blackout:
Η υποδομή του συστήματος ΗΕ είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί σε περιστασιακή αύξηση του φορτίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, το σύστημα λειτουργεί πλήρως, ενώ όταν η ζήτηση δεν είναι αυξημένη το σύστημα υπολειτουργεί. Αυτό το γεγονός απαιτεί επενδύσεις σε δυναμικότητα που δεν θα χρειάζονται, εάν η καμπύλη της ζήτησης ήταν πιο επίπεδη. Δηλαδή η μείωση του ποσού ΗΕ που απαιτείται να παράγεται σε ώρες αιχμής μειώνει επίσης και την ανάγκη δόμησης περισσότερων σταθμών παραγωγής ΗΕ. Επομένως, με την παρότρυνση των καταναλωτών να αποφεύγουν τη χρήση ΗΕ σε περιόδους μεγάλης ζήτησης ώστε να μην επιβαρύνονται οικονομικά, το Έξυπνο Δίκτυο συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης blackout.
- ✓ Εντοπισμός και επιδιόρθωση βλαβών:
Μέχρι σήμερα ο εντοπισμός της βλάβης μετά από κάποιο πρόβλημα του δικτύου είναι χρονοβόρα υπόθεση και πραγματοποιείται από την ηλεκτρική εταιρεία. Προσωπικό της εταιρείας ηλεκτρισμού εντοπίζει με μετρήσεις την ακριβή θέση του προβλήματος και κατόπιν ενεργοποιείται, εφόσον υπάρχει, εναλλακτική διαδρομή για την τροφοδότηση της αποκομμένης περιοχής μέχρι να αποκατασταθεί η βλάβη.
Το ΕΔ διαθέτοντας αισθητήρες σε πολλά σημεία είναι ικανό να εντοπίζει το σημείο της βλάβης αμέσως. Είναι, επίσης, ικανό να προσδιορίζει μία εναλλακτική διαδρομή και να την ενεργοποιεί για την τροφοδότηση της περιοχής, μέχρι το προσωπικό της αρμόδιας επιχείρησης να αποκαταστήσει τη βλάβη. Η δυνατότητα αυτή του ΕΔ ονομάζεται αυτο-ίαση (self-healing). Είναι πιθανό, εφόσον ο χρόνος αποκατάστασης είναι μικρός (<10ms), το πρόβλημα του δικτύου να μη γίνει αντιληπτό από τους καταναλωτές. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το όφελος από τη μείωση των διακοπών αν ληφθούν υπόψη τα μεγέθη των οικονομικών ζημιών εξαιτίας των διακοπών.

✓ Αντιμετώπιση κλοπής ρεύματος:

Η κλοπή ρεύματος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες που συνιστά σημαντική οικονομική ζημιά για τις εταιρείες ηλεκτρισμού. Το ΕΔ μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά το φαινόμενο αυτό, καθώς διαθέτει συστήματα επιτήρησης σε πολλά σημεία του δικτύου. Οι κόμβοι οι οποίοι διαθέτουν τέτοια συστήματα μπορούν να επισημάνουν ενδεχόμενη απώλεια ρεύματος ή διαταραχή λόγω κλοπής ρεύματος ή υλικού. Ο εντοπισμός των κλοπών ρεύματος βασίζεται σε μετρήσεις ισχύος σε διάφορα σημεία μιας διαδρομής. Στην περίπτωση αυτή, με ενημέρωση της εταιρείας ηλεκτρισμού είναι εφικτή η αποτροπή της όποιας παράνομης δραστηριότητας.

Σημαντική είναι η δυνατότητα του ΕΔ να ενσωματώνει διαφορετικές διατάξεις στις οποίες επιτρέπει να επικοινωνούν με το κεντρικό σύστημα. Είναι δυνατή, έτσι, η εγκατάσταση καμερών σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου οι οποίες αποστέλλουν δεδομένα βίντεο στο σταθμό επιτήρησης και ελέγχου. Οι κάμερες αυτές ενεργοποιούνται σε περίπτωση παρατήρησης κάποιου ύποπτου γεγονότος στην περιοχή επιτήρησής τους από κάποιον κοντινό αισθητήρα. Τότε, οι κάμερες αποστέλλουν κινούμενη εικόνα από το σημείο. Με δεδομένη την εξυπηρέτηση διαφορετικών κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας, τα δεδομένα των καμερών μπορούν να λάβουν υψηλή προτεραιότητα, ώστε να ενημερωθεί το αρμόδιο τμήμα της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Έτσι, είναι δυνατό να αντιμετωπίζονται άμεσα και αποτελεσματικά οι κλοπές υλικών του δικτύου και να αποτρέπονται απόπειρες δολιοφθοράς κατά των εγκαταστάσεων της ηλεκτρικής εταιρείας.



Εικόνα 4.11: Smart Grids σε διαστρωμάτωση

✓ Ενσωμάτωση κατανεμημένων πηγών ενέργειας:

Το ΕΔ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ομαλή ενσωμάτωση των διασπαρμένων πηγών ΗΕ. Επιτρέπει την τιμολόγηση της ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Η δυνατότητα αυτή είναι αρκετά χρήσιμη αφού είναι εφικτό κάθε παραγωγός, έχοντας γνώση της τιμής πώλησης της ΗΕ, να αποφασίζει για τη σύνδεση ή όχι του συστήματός του στο δίκτυο με σκοπό την πώληση ΗΕ.

Επιπλέον, το ΕΔ διαθέτει μετρητικές διατάξεις οι οποίες μετρούν την ποιότητα της παρεχόμενης ΗΕ (πλάτος εναλλασσόμενης τάσης, αρμονικές συνιστώσες, συχνότητα, κ.λπ.) σε κάθε σημείο του δικτύου. Στην περίπτωση παροχής μη αποδεκτής ποιοτικά ενέργειας από κάποιον κατανεμημένο παραγωγό μπορεί αυτόματα να διακοπεί προσωρινά η σύνδεσή του με το υπόλοιπο δίκτυο αυτόματα. Όταν η ενέργεια διαθέτει πάλι αποδεκτή ποιότητα, συνδέεται πάλι αυτόματα ο παραγωγός. Μέσω του ΕΔ η ενσωμάτωση των κατανεμημένων πηγών γίνεται πολύ απλή.

✓ Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

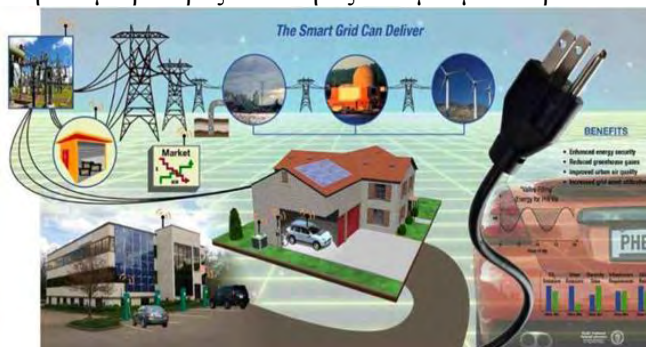
Το Έξυπνο Δίκτυο καθιστά ευκολότερη την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο ΗΕ. Επομένως, τα σπίτια και οι επιχειρήσεις που παράγουν ΗΕ μέσω τέτοιων πηγών θα μπορούν πιο εύκολα να την μοιράζονται με άλλους καταναλωτές μέσω του Έξυπνου Δικτύου.

✓ Καθαρή ενεργειακή αγορά:

Αρκετοί σημερινοί τελικοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες με «πράσινη» ενέργεια, πληρώνοντας ένα μικρό αντίτιμο. Επίσης, στις μέρες μας, εν μέσω διαρκών προειδοποιήσεων σχετικά με τη μόλυνση του αέρα και γενικότερα του περιβάλλοντος, ορισμένα εργοστάσια παραγωγής και βαριές βιομηχανίες αναγκάζονται να διακόψουν τη λειτουργία τους. Τα Έξυπνα Δίκτυα θα μπορέσουν να βελτιώσουν αυτήν την κατάσταση, με χρήση αυτοματοποιημένων και προτυποποιημένων διαδικασιών. Έξυπνος εξοπλισμός, ειδικές συσκευές και κτίσματα, θα διαθέτουν τηλεπικοινωνιακές δυνατότητες να ειδοποιούν π.χ. για υπέρβαση των ορίων της στάθμης των ανεπιθύμητων αερίων σε συγκριμένους χώρους και ώρες, ή να δίνουν άλλες παρεμφερείς πληροφορίες στους διαχειριστές των δικτύων. Έτσι, θα είναι ανά πάσα στιγμή δυνατό να εντοπίζονται οι πλέον ρυπογόνες επιχειρήσεις και εργοστάσια παραγωγής, και να επιβάλλονται πρόστιμα, ή να αναστέλλεται η λειτουργία τους. Η προσφορά στους ιδιοκτήτες «καθαρών» εργοστασίων παραγωγής σε μια on demand αγορά όπου θα μπορούσαν να επενδύσουν, θα ανοίξει νέους δρόμους για τις επιχειρήσεις αυτές και θα προωθήσει την εναλλακτική, καθαρή και κατανεμημένη παραγωγή προς το δίκτυο.

✓ Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

Τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας υπό πλήρη παραγωγική ισχύ αποτελούν μια από τις κυριότερες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης, καθώς τότε τείνουν να έχουν τη μικρότερη απόδοση. Επιπλέον, όταν ένα εργοστάσιο λειτουργεί με αυξομειώσεις στην παραγωγή ενέργειας, παράγει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες ρυπογόνων αποβλήτων (αερίων και μη) σε σχέση με τη λειτουργία του σε σταθερή παραγωγική κατάσταση. Η αυξομείωση αυτή δεσμεύει από την παραγωγή ένα ποσοστό 10-15% της ενέργειας που παράγεται, ενώ παράλληλα, τα εργοστάσια συνεχίζουν να λειτουργούν ακόμα και όταν η ενέργεια που παράγεται δεν είναι άμεσα απαιτούμενη. Το δίκτυο, όμως, χρειάζεται αυτό το περίσσειμα ενέργειας για να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τις εκρηκτικές μεταβολές ζήτησης ενέργειας που μπορεί να προκύψουν. Τα Έξυπνα Δίκτυα μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε αυτό, καθώς μέσω της ενσωμάτωσης κατανεμημένων, τοπικών σταθμών παραγωγής με δυνατότητα αντιστροφής της ροής ενέργειας, έχουν τη δυνατότητα να εκτονώσουν την ενεργειακή ζήτηση από τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο, εκτός από καλύτερη ενεργειακή απόδοση και μικρότερες ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων.



Εικόνα 4.12: Ένα Έξυπνο Δίκτυο

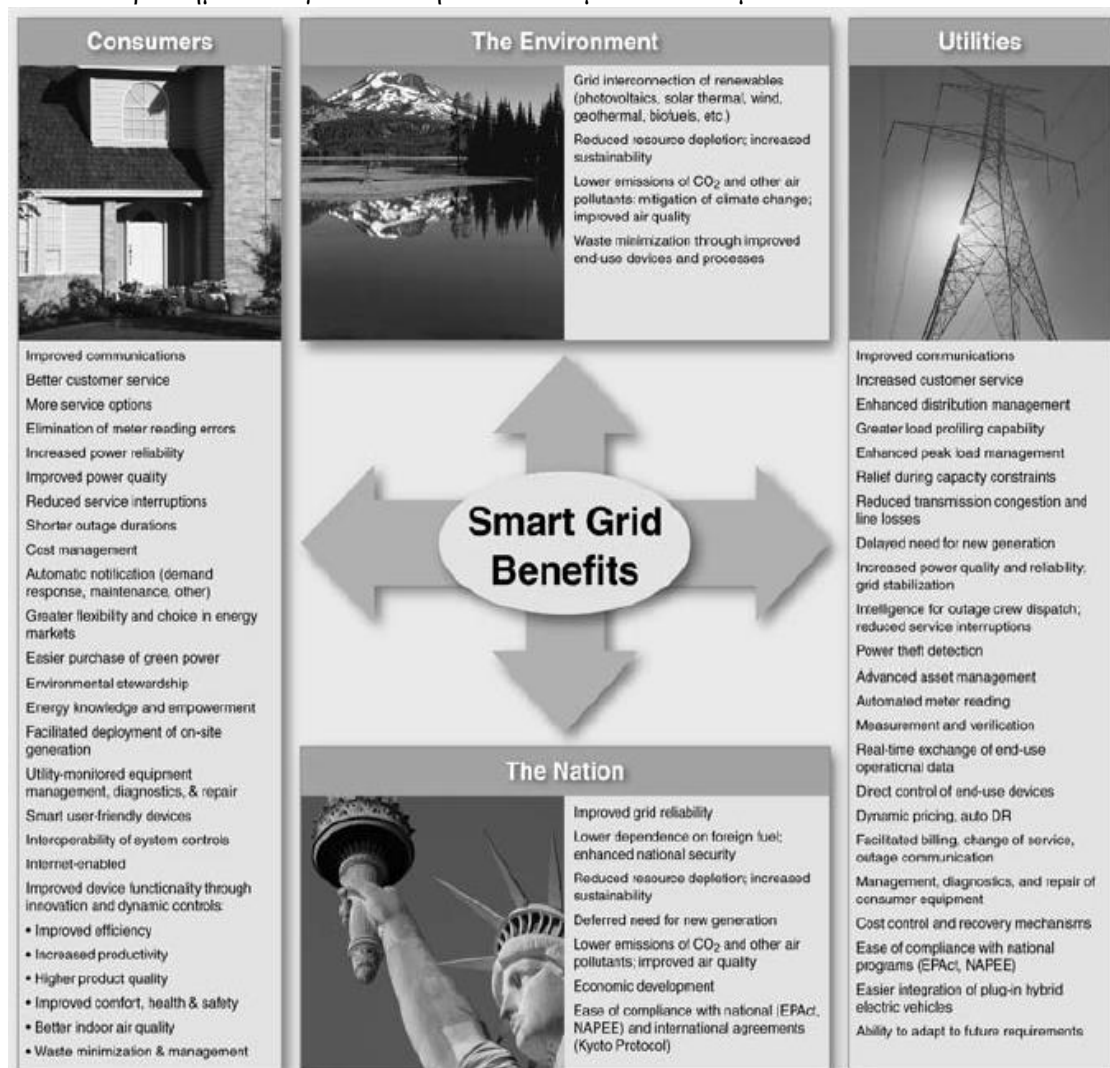
✓ Δίνει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας:

Μέσω του Έξυπνου Δικτύου, ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να φορτίζονται σε κατάλληλες χρονικές περιόδους ώστε να λειτουργούν σαν μέσα αποθήκευσης.

✓ Δημιουργία θέσεων εργασίας:

Η βασική έρευνα χρειάζεται πολλούς νέους επιστήμονες προκειμένου να στελεχωθούν ικανές επιστημονικές ομάδες για να ερευνήσουν τους τρόπους βελτιστοποίησης των δικτύων έξυπνης ενέργειας. Επιπλέον, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας για μηχανικούς που θα αναλάβουν το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και υλοποίηση

των δικτύων. Εάν συνυπολογισθεί και το νομοθετικό, ρυθμιστικό και οικονομολογικό έργο που επιβάλλεται να παραχθεί, εύκολα προκύπτει ότι δημιουργούνται πολλές θέσεις εργασίας, ικανές να απορροφήσουν εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για οποιαδήποτε οικονομία στον κόσμο.



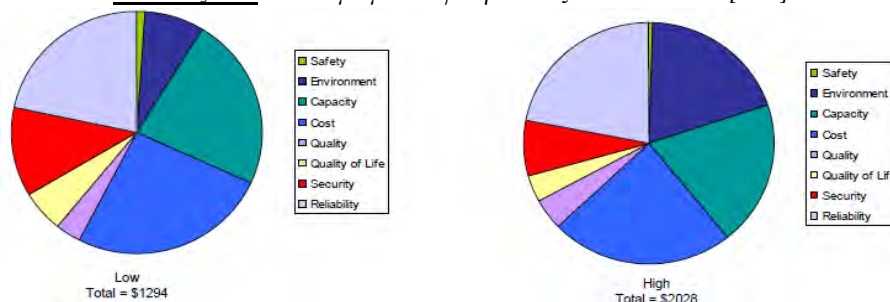
Εικόνα 4.13: Μία συνοπτική περιγραφή των οφελών του Έξυπνου Δικτύου[58]

Από όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε πώς τα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή του Έξυπνου Δικτύου θα είναι πολυάριθμα. Γενικά, το ΕΔ θα εξασφαλίσει στους καταναλωτές αξιόπιστη και υψηλής ποιότητας ενέργεια, αύξηση των υπηρεσιών που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια και ένα βελτιωμένο περιβάλλον.

Στον Πίνακα 4.4 και στο Διάγραμμα 4.4, δίνεται μία εκτίμηση των οφελών που θα προκύψουν από την πλήρη λειτουργία του Έξυπνου Δικτύου (σύμφωνα με το Electric Power Research Institute, EPRI). Πιο συγκεκριμένα, δίνονται δύο εκτιμήσεις όσον αφορά τα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή του ΕΔ, μία χαμηλή, που αντιστοιχεί στα ελάχιστα οφέλη που θα προκύψουν από την εφαρμογή του ΕΔ, και μία υψηλή εκτίμηση, που αντιστοιχεί στα μέγιστα οφέλη που θα προκύψουν από την υλοποίησή του. Παρατηρούμε, λοιπόν, πώς σύμφωνα με τη χαμηλή εκτίμηση, τα οφέλη που θα προκύψουν θα είναι περίπου \$1.294.000.000.000, ενώ τα αντίστοιχα οφέλη που θα προκύψουν σύμφωνα με την υψηλή εκτίμηση θα είναι περίπου \$2.028.000.000.000. [131]

Attribute	Net Present Worth (2010) \$B	
	Low	High
Productivity	1	1
Safety	13	13
Environment	102	390
Capacity	299	393
Cost	330	475
Quality	42	86
Quality of Life	74	74
Security	152	152
Reliability	281	444
Total	1294	2028

Πίνακας 4.4: Τα εκτιμώμενα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου [131]



Διάγραμμα 4.4: Τα εκτιμώμενα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου (σε δισεκατομμύρια δολάρια) [131]

4.9 Σύγκριση του κόστους και των οφελών του Έξυπνου Δικτύου

Στον Πίνακα 4.5 επιχειρείται μία σύγκριση του κόστους που απαιτείται για την πλήρη υλοποίηση του Έξυπνου Δικτύου και των οφελών που θα προκύψουν από την εφαρμογή του (σύμφωνα με το Electric Power Research Institute, EPRI). Παρατηρούμε, ότι ενώ το ύψος των εκτιμώμενων επενδύσεων για την υλοποίηση του μελλοντικού συστήματος παροχής ενέργειας θα κυμαίνεται από \$338.000.000.000 έως \$476.000.000.000, το ύψος των εκτιμώμενων οφελών από την εφαρμογή του θα κυμαίνεται από \$1.294.000.000.000 έως \$2.028.000.000.000. Επομένως, η αναλογία κόστους-οφέλους θα κυμαίνεται από 2.8 έως 6.0.

Από τη σύγκριση αυτή, συμπεραίνουμε ότι τα οφέλη που θα αποδώσει το μελλοντικό Έξυπνο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας υπερτερούν σημαντικά έναντι των δαπανών που θα απαιτηθούν για την υλοποίησή του και είναι αδιαμφισβήτητο πώς το Έξυπνο Δίκτυο αποτελεί πράγματι μία καλή επένδυση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. [131]

	20-Year Total (\$billion)
Net Investment Required	338 – 476
Net Benefit	1,294 – 2,028
Benefit-to-Cost Ratio	2.8 – 6.0

Πίνακας 4.5: Σύγκριση των εκτιμήσεων του κόστους και των οφελών του Έξυπνου Δικτύου [131]

Κεφάλαιο 5

Μικροδίκτυα και Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής (Microgrids and Virtual Power Plants)

5.1 Εισαγωγή

Το ευρύτερο πλαίσιο των Ευφυών Δικτύων περιλαμβάνει δύο άλλες έννοιες δικτύων, τα οποία αναμένονται στο μέλλον να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον τομέα ισχύος και ενέργειας, εξαιτίας των πολλών οφελών που θα παρέχουν, καθώς επίσης θα προωθήσουν και την περαιτέρω ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων. Θα πρέπει, όμως, να πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα και να υλοποιηθούν πιλοτικά προγράμματα, μέχρι να μπορέσουν να τεθούν ανταγωνιστικά στο καθεστώς της απελευθερωμένης αγοράς. Οι δύο αυτές έννοιες δικτύων είναι:

- τα Μικροδίκτυα (Microgrids) και
- οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής (Virtual Power Plants).

5.2 Μικροδίκτυα (Microgrids)

Η κατανεμημένη παραγωγή προωθεί την ανάπτυξη ενός νέου δικτύου, που ονομάζεται Μικροδίκτυο, το οποίο θεωρείται ως ένα από τους πυλώνες του μελλοντικού Έξυπνου Δικτύου [41]. Τα Μικροδίκτυα αναμένεται ότι θα διαδραματίσουν ένα σημαντικότερο ρόλο στο Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο του μέλλοντος.

Τα έξυπνα Μικροδίκτυα, για ορισμένους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρούνται ως ένα αποτελεσματικό και οικονομικό μέσο για τη βελτίωση των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Οι εγκαταστάσεις που έχουν υλοποιηθεί μέχρι στιγμής αποδεικνύουν ότι τα Μικροδίκτυα μπορούν να πληρούν τις τεχνικές και μηχανολογικές προκλήσεις που συνεπάγονται, αλλά με βάση την τρέχουσα γνώση σχετικά με το κόστος και τα οφέλη ενός Μικροδικτύου, εξακολουθεί να υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα των Μικροδικτύων. [115]

5.2.1 Ορισμός Μικροδικτύου

Δεν υπάρχει κάποιος κοινά αποδεκτός ορισμός του τι ακριβώς είναι ένα Μικροδίκτυο. Γενικά, όμως, ως «Μικροδίκτυο» θα μπορούσαμε να ορίσουμε τα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδεδεμένα με πηγές διεσπαρμένης παραγωγής, τοπικές διατάξεις αποθήκευσης και ελεγχόμενα φορτία (π.χ. θερμοσίφωνες, κλιματιστικά). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους κυμαίνεται περίπου από μερικές εκατοντάδες kW μέχρι 1-2MW.

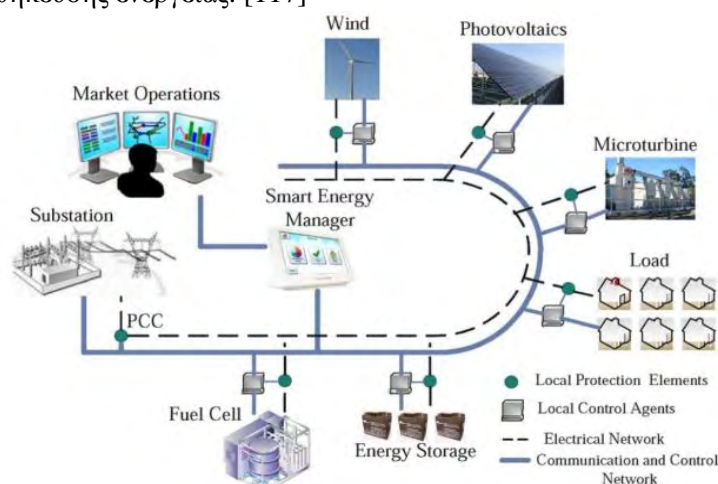
Τα Μικροδίκτυα έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν είτε παράλληλα είτε αποσυνδεδεμένα με το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κανονικές συνθήκες τα Μικροδίκτυα λειτουργούν συνδεδεμένα στο δίκτυο διανομής. Το χαρακτηριστικό, όμως, που τα κάνει να ξεχωρίζουν είναι πως σε περίπτωση σφάλματος στο κύριο δίκτυο, έχουν τη

δυνατότητα να μεταπέσουν αυτόματα σε αυτόνομη λειτουργία -νησιδοποίηση (islanded mode)- και μετά την επιδιόρθωση του σφάλματος να συγχρονιστούν με το δίκτυο και να επανέλθουν στην κανονική λειτουργία. Η μετάβαση μεταξύ των δύο αυτών τρόπων λειτουργίας είναι απλή και άμεση, χάρη στην ικανότητα που έχει το Μικροδίκτυο να διαχειρίζεται τις ροές ενέργειας.

Μέσα στο δίκτυο, από τεχνική σκοπιά, το Μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως μία ελεγχόμενη μονάδα που μπορεί να λειτουργήσει ως ισοδύναμη πηγή ή φορτίο. Από εμπορική πλευρά, μπορεί να αξιοποιηθεί οικονομικά ως πηγή ενέργειας ή να υποστηρίξει το δίκτυο προσφέροντας βοηθητικές υπηρεσίες. [48][116]

Επιπλέον, τα έξυπνα Μικροδίκτυα, όπως τα αμφίδρομα δίκτυα διανομής ενέργειας, έχουν πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στη ζήτηση των χρηστών και είναι σε θέση να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας των καταναλωτών.

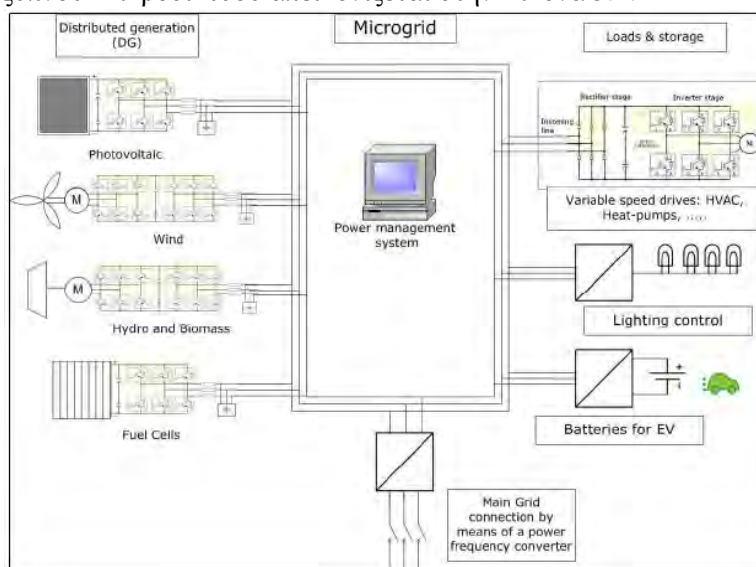
Στην Εικόνα 5.1 απεικονίζεται ένα τυπικό μικροδίκτυο το οποίο είναι συνδεδεμένο με το κύριο δίκτυο. Περιέχει έναν κεντρικό ελεγκτή, τα φορτία και τις πηγές ενέργειας που αποτελούνται από ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα, κυψέλες καυσίμου και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. [117]



Εικόνα 5.1: Ένα έξυπνο Μικροδίκτυο [117]

5.2.2 Δομή ενός Μικροδικτύου

Ένα έξυπνο Μικροδίκτυο αποτελείται από τα εξής κύρια συστατικά: τις τοπικές μονάδες παραγωγής, τα φορτία με τους ελεγκτές τους, τη διασύνδεση της ηλεκτρικής ενέργειας με το κύριο δίκτυο και το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας. Ένα απλό σχήμα ενός τέτοιου έξυπνου Μικροδικτύου απεικονίζεται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Η δομή ενός έξυπνου Μικροδικτύου [116]

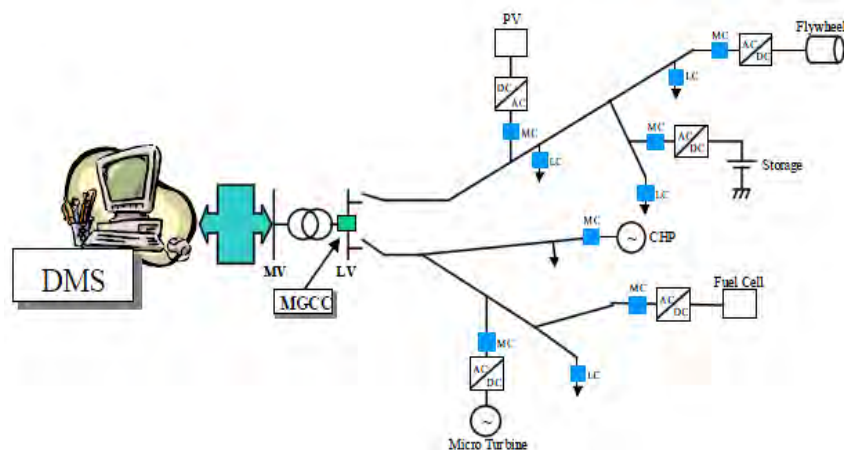
Η χρήση εξοπλισμού ενέργειας η οποία μπορεί να εγγυηθεί υψηλά πρότυπα για την ποιότητα του ρεύματος, την υψηλή αξιοπιστία και την απόδοση είναι πρωταρχικής σημασίας. Η ποιότητα ενέργειας αναφέρεται στην παροχή χαμηλής παραμόρφωσης της τάσης του δικτύου και στις μειωμένες ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές, προκειμένου να αποφευχθούν οι επιπλέον απώλειες στον εξοπλισμό των χρηστών και οι ανεπιθύμητες διαταραχές. Κατά συνέπεια, για να υπάρχει αξιοπιστία και ασφάλεια, απαιτείται εξοπλισμός ισχύος ικανός να διαχειριστεί κάθε κανονική και παροδική κατάσταση, χωρίς να χάνεται η λειτουργικότητά του. [116]

5.2.3 Διαχείριση του Μικροδικτύου (Microgrid Operation)

Οι τεχνικές προκλήσεις που συνδέονται με τη διαχείριση και τον έλεγχο των Μικροδικτύων είναι τεράστιες. Η αποτελεσματική ενεργειακή διαχείριση είναι ένα κλειδί στην επίτευξη πολύ σημαντικών πλεονεκτημάτων ως προς την αποδοτικότητα, βελτιστοποιώντας την παραγωγή και την κατανάλωση θερμότητας, αερίου και ηλεκτρισμού. Ο συντονισμένος έλεγχος ενός μεγάλου αριθμού διεσπαρμένων πηγών με, πιθανώς, συγκρουόμενες απαιτήσεις και περιορισμένη επικοινωνία είναι ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα που επιβάλλει την υιοθέτηση τεχνικών «ευφυΐας» (smart grids). Επιπλέον, η ισορροπία στιγμιαίας ενεργού και αέργου ισχύος, η ροή ισχύος και τα προφίλ τάσης του δικτύου είναι σημαντικά θέματα που τίθενται στο πλαίσιο του Μικροδικτύου. Παραδοσιακά, τα δίκτυα ισχύος είναι εφοδιασμένα με πηγές στρεφόμενης εφεδρείας και θεωρούνται πολύ σημαντικά για την αυτόνομη ευστάθεια του συστήματος. Αντίθετα, τα Μικροδίκτυα κυριαρχούνται από καταναεμημένες πηγές που συνδέονται με διεπαφές αντιστροφών (inverters) που είναι λιγότερο αδρανείς, αλλά προσφέρουν τη δυνατότητα μίας πιο ευέλικτης διαχείρισης.

Ένα, επιπλέον, ιδιαίτερο πρόβλημα των Μικροδικτύων είναι η υψηλή αντίσταση στο ρυθμό αντίδρασης των δικτύων χαμηλής τάσης, που έχουν ως αποτέλεσμα την ισχυρή σύνδεση της πραγματικής και αέργου ισχύος. Έτσι, ο έλεγχος της τάσης και της συχνότητας δεν μπορούν πλέον να θεωρηθούν ξεχωριστές διαδικασίες. Βασικό μέλημα ενός Μικροδικτύου είναι να εξασφαλίσει τη σταθερή λειτουργία κατά τη διάρκεια σφαλμάτων και ποικίλων διαταραχών στο δίκτυο. Οι μεταβολές από διασυνδεδεμένη σε απομονωμένη λειτουργία μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες διαφορές μεταξύ παραγωγής και φορτίου, θέτοντας σημαντικό πρόβλημα ελέγχου της συχνότητας και της τάσης. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, μπορούν να γίνουν σημαντικά στοιχεία για ένα Μικροδίκτυο, καθώς εξασφαλίζουν σταθερή λειτουργία του δικτύου κατά τη διάρκεια διαταραχών. Η διατήρηση σταθερότητας και ποιότητας ισχύος στην απομονωμένη λειτουργία απαιτεί την ανάπτυξη ικανοποιητικών στρατηγικών ελέγχου και πρέπει να περιλαμβάνει και την παραγωγή και την πλευρά της ζήτησης.

Για να επιτευχθούν τα μέγιστα οφέλη από τη λειτουργία των Μικροδικτύων, είναι σημαντικό, η ενσωμάτωση των καταναεμημένων πόρων στα δίκτυα χαμηλής τάσης να συνεισφέρει στη βελτιστοποίηση της γενικής λειτουργίας του συστήματος. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, μπορεί να εφαρμοστεί μίας αρχιτεκτονική ιεραρχικού ελέγχου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Αρχιτεκτονική Μικροδικτύου για ιεραρχικό έλεγχο [118]

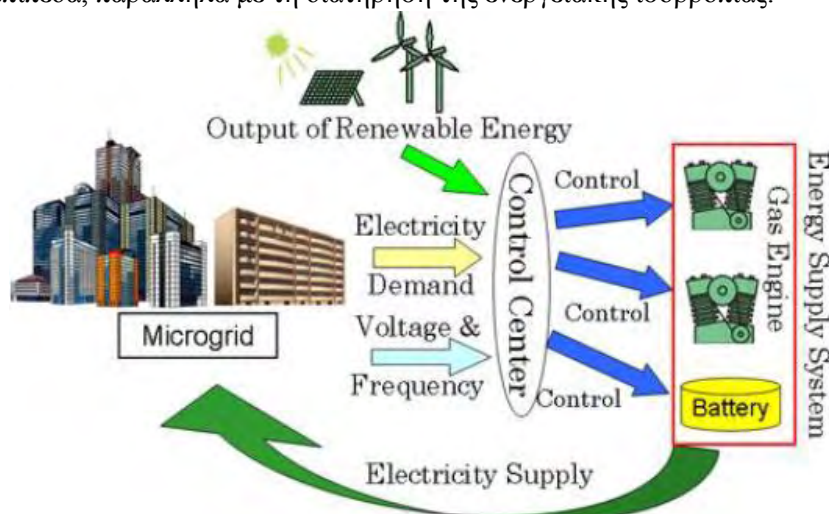
Τα διαφορετικά επίπεδα ελέγχου, όπως απεικονίζονται και στην παραπάνω εικόνα, συμπεριλαμβάνουν:

- Ένα σύστημα διαχείρισης της διανομής (Distribution Management System, DMS): Τα Μικροδίκτυα που συνδέονται με τα τροφοδοτικά των Συστημάτων Διαχείρισης Διανομής (DMS), θα πρέπει ιδανικά να μοιάζουν με συγκεντρωμένα φορτία. Τα ζητήματα που αφορούν την αυτόνομη και τη μη αυτόνομη λειτουργία των Μικροδικτύων είναι νέα σημαντικά ζητήματα. Η αποσύνδεση και ο εκ νέου συγχρονισμός των Μικροδικτύων κατά τη διάρκεια αλλά και μετά από περιόδους βλάβης χρειάζεται να αξιολογηθούν.
- Τοπικούς ελεγκτές μικροπαραγωγής και ελεγκτές φορτίου (Local Microgenerator Controllers/Load Controllers, MC/LC): Οι ελεγκτές μικροπαραγωγής αξιοποιούν την ηλεκτρονική διεπαφή ισχύος της μικροπηγής και μπορούν να βελτιωθούν με διάφορους βαθμούς ευφυΐας. Επιπλέον, χρησιμοποιούν τοπική πληροφορία για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας του Μικροδικτύου σε παροδικές συνθήκες και πρέπει να προσαρμόζονται σε κάθε είδος μικροπηγή (PV, μικρο-τουρμπίνα, κ.λπ.). Αντίθετα, οι τοπικοί ελεγκτές φορτίου, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε ελεγχόμενα φορτία, παρέχουν δυνατότητες ελέγχου του φορτίου.
- Έναν κεντρικό ελεγκτή του συνολικού μικροδικτύου (MicroGrid System Central Controller, MGCC): Οι λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή του Μικροδικτύου μπορεί να κυμαίνονται από την παρακολούθηση της πραγματικής ενεργού και αέργου ισχύος των καταναμημένων πόρων, έχοντας ως στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του Μικροδικτύου, στέλνοντας ρυθμίσεις του σήματος ελέγχου στους καταναμημένους πόρους και στα ελεγχόμενα φορτία.

Τα εργαλεία ICT (Information and Communication Technologies) μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία και τον έλεγχο ενός Μικροδικτύου. Ένα μελλοντικό αποκεντρωμένο σύστημα θα μπορούσε να απαιτεί πληροφορίες από κάποιον τοπικό ελεγκτή μικροπαραγωγής (MC) ή ελεγκτή φορτίου (LC) που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο, όπως το πόσο ισχύ καταναλώνει ή θα μπορούσε να παράγει. Επιπρόσθετα, πολλές νέες τεχνολογίες που είναι υπό ανάπτυξη θα μπορούσαν να κάνουν ακόμα και μικρούς χρήστες του ηλεκτρισμού να αντιδρούν πιο πολύ σε αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας, καθώς και στις τιμές του ηλεκτρισμού. Διαδικτυακοί ιστότοποι με ενσωματωμένο λογισμικό αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρέως, ώστε να παρέχουν την απαραίτητη επικοινωνία. [118]

5.2.4 Έλεγχος Μικροδικτύων

Ο έλεγχος των Μικροδικτύων είναι άρρικτα συνδεδεμένος με την ενεργειακή ισορροπία και την ισορροπία ισχύος μέσα σ' αυτά. Υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι: η συχνότητα, η τάση και η ποιότητα ισχύος, που πρέπει να ελεγχθούν και να βρίσκονται σε αποδεκτά επίπεδα, παράλληλα με τη διατήρηση της ενεργειακής ισορροπίας.



Εικόνα 5.4: Ο έλεγχος σε ένα Μικροδίκτυο

Σ' ένα σύστημα ισχύος από τη στιγμή που δεν υπάρχει ενεργειακή αποθήκευση, πρέπει η παραγόμενη ισχύς να συμπίπτει με την καταναλισκόμενη, δηλαδή να είναι σε ισορροπία και μάλιστα σε κάθε κύκλο, έτσι ώστε να διατηρείται η συχνότητα μέσα στα επιτρεπτά όρια μεταβολής. Δηλαδή, προσθήκη νέας γεννήτριας σημαίνει αφαίρεση άλλης ή αύξηση του φορτίου, για να έχουμε σταθερή συχνότητα. Σε ένα Μικροδίκτυο που συγχρονίζεται με το κεντρικό δίκτυο, η σταθερή συχνότητα είναι τόσο σημαντική που επιβάλλεται να ελέγχεται μέσω τεχνικών, όπως η αύξηση πρωτογενούς παραγωγής, η απελευθέρωση αποθηκευμένης ενέργειας και η μεταβολή του φορτίου. Η βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας χρειάζεται για να αντισταθμίσει διακυμάνσεις στη ζήτηση ισχύος ή μία ξαφνική απώλεια κάποιας γεννήτριας. Το Μικροδίκτυο, σε αντίθεση με το κεντρικό δίκτυο, επειδή έχει πολλές μικρές γεννήτριες, δεν είναι τόσο δύσκαμπτο και η αποθήκευση με τις γεννήτριες θα επιτρέψει στους αντιστροφείς να ακολουθήσουν την ταχέως μεταβαλλόμενη ζήτηση.

Η συχνότητα του Μικροδικτύου, όταν πρόκειται να συνδεθεί με το κεντρικό δίκτυο, θα πρέπει να είναι ίση με αυτή του κεντρικού δικτύου, συνήθως 50 Hz. Μία απόκλιση των $\pm 0,5$ Hz είναι αποδεκτή. Η τυπική μέθοδος ελέγχου συχνότητας στις σύγχρονες μηχανές είναι ο έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα των γεννητριών που παρέχουν ηλεκτρική ισχύ στο Μικροδίκτυο, ενώ στην περίπτωση των ασύγχρονων γεννητριών γίνεται χρήση αντιστροφών για τον έλεγχο της συχνότητας. Όσον αφορά τον έλεγχο της τάσης σε ένα Μικροδίκτυο, αυτός γίνεται αρχικά από την τάση των γεννητριών, αλλά στη συνέχεια πραγματοποιείται και έλεγχος της ροής της αέργου ισχύος. Γενικά, η ισορροπία της αέργου ισχύος είναι πιο κρίσιμη σε μικρότερα συστήματα. Τέλος, ο έλεγχος της ποιότητας ισχύος για ένα Μικροδίκτυο είναι ύψιστης σημασίας. Η πτώση τάσης, τα φλίκερ, οι αρμονικές, κ.λπ. είναι πολύ ουσιαστικές παράμετροι σε συστήματα με λίγες γεννήτριες. Οι ηλεκτρονικοί αντιστροφείς δεν βοηθούν μόνο στον έλεγχο της συχνότητας, αλλά μπορούν επίσης να παράγουν άεργο ισχύ για να καλύπτουν τις ανάγκες των φορτίων του Μικροδικτύου, καθώς και αρμονικά ρεύματα που χρειάζονται για να καλύψουν τα μη γραμμικά φορτία. [119]

5.2.5 Σχέση μεταξύ Μικροδικτύου και τοπικού κεντρικού δικτύου

Βασικός στόχος είναι η αυτάρκεια του Μικροδικτύου, αλλά για λόγους ασφάλειας της παροχής και ευελιξίας σχεδόν πάντα πρέπει να συνδέεται στο κεντρικό δίκτυο ή σε γειτονικά Μικροδίκτυα. Αυτές οι συνδέσεις μπορεί να είναι αμφίδρομες, επιτρέποντας την εισαγωγή ή εξαγωγή ηλεκτρισμού, ή μονόδρομες. Από την πλευρά του Μικροδικτύου, το κεντρικό δίκτυο πρέπει να θεωρείται σαν άλλη μία γεννήτρια ή φορτίο.

Ένας τρόπος σύνδεσης του Μικροδικτύου σε ένα άλλο δίκτυο είναι ο συγχρονισμός με το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) του δικτύου αυτού. Έτσι, απαιτείται μόνο μία ηλεκτρική διασύνδεση και πιθανώς ένας μετασχηματιστής, κάτι που καθιστά τη σύνδεση απλή διαδικασία με ελάχιστο κεντρικό έλεγχο της τοπικής παραγωγής, η οποία δύναται να λειτουργεί συνδεδεμένη στο κεντρικό δίκτυο ή και αυτόνομα. Κάτι ασαφές, βέβαια, είναι το πώς η σύγχρονη σύνδεση θα επανασυγχρονιστεί, όταν το κεντρικό δίκτυο επανεγκαταστήσει τη σύνδεση.

Μία άλλη προσέγγιση στο κεντρικό δίκτυο είναι απευθείας με συνεχές ρεύμα (DC) σε συνδυασμό, βέβαια, με αντιστροφή. Με αυτόν τον τρόπο, το Μικροδίκτυο ανεξαρτητοποιείται από το κεντρικό δίκτυο όσον αφορά την άεργο ισχύ, το ενεργειακό ισοζύγιο, κ.λπ. Μόνο η ισχύς ανταλλάσσεται με το κεντρικό δίκτυο και το Μικροδίκτυο είναι πλήρως υπεύθυνο για τη διατήρηση της ποιότητας ισχύος (συχνότητα, τάση, παροχή αέργου ισχύος και αρμονικές) στην περιοχή του. Με την ασύγχρονη σύνδεση, όλη η ισχύς παρέχεται στο Μικροδίκτυο μέσω αντιστροφών (inverters). Βέβαια, κάποιες μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται στα Μικροδίκτυα, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά, από τη φύση τους παράγουν DC τάση, οπότε για να συνδεθούν σε AC δίκτυο απαιτούν αντιστροφή.

Το ποια προσέγγιση σύνδεσης θα ακολουθηθεί σε κάθε περίπτωση, εξαρτάται από το μέγεθος του Μικροδικτύου, καθώς και από το θεσμικό πλαίσιο της εκάστοτε χώρας όσον αφορά τη σύνδεση του Μικροδικτύου στο κεντρικό δίκτυο. [119]

5.2.6 Οφέλη των Μικροδικτύων

Τα αναμενόμενα οφέλη που θα προκύψουν από τα Μικροδίκτυα θα είναι πολλά και θα αφορούν τόσο τους καταναλωτές ενέργειας, το ενεργειακό σύστημα όσο και την κοινωνία στο σύνολό της. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά αυτά τα οφέλη [115]:

- Οφέλη για τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας:
 - Αυξάνουν την αξιοπιστία και μειώνουν τον αριθμό και τη διάρκεια των διακοπών.
 - Εξασφαλίζουν υψηλή αξιοπιστία όσον αφορά την προμήθεια ενέργειας σε κρίσιμα φορτία.
 - Παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα ισχύος, η οποία ελέγχεται σε τοπικό επίπεδο.
 - Αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση, συμπεριλαμβάνοντας τις εφαρμογές συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP).
 - Προωθούν και αυξάνουν τη συμμετοχή των πελατών στην ενεργειακή απόδοση, στη διαχείριση της ζήτησης και στην εξομάλυνση του φορτίου.
 - Μειώνουν το συνολικό κόστος για τις ενεργειακές υπηρεσίες που παρέχονται, συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης αγοράς καυσίμων για επί τόπου ζήτηση θερμικής ενέργειας και παρέχουν ευκαιρίες για την ευέλικτη λειτουργία ανάλογα με τις μεταβλητές τιμές των καυσίμων θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Αδρανοποιούν πολλά φορτία για να βοηθήσουν να βελτιστοποιηθεί η χρήση της Διεσπαρμένης Παραγωγής (DER) και να πετύχουν τη βελτίωση των οικονομιών κλίμακας.
 - Προωθούν την ενεργειακή αυτόρκεια της κοινότητας και επιτρέπουν στην κοινότητα να λαμβάνει αποφάσεις που θα αφορούν την προμήθεια ενέργειας.
 - Αυξάνουν τον ανταγωνισμό στη λιανική πώληση, καθώς επίσης αυξάνουν και τις επιλογές των καταναλωτών.
 - Μειώνουν την αστάθεια των τιμών.
 - Διευκολύνουν και απλοποιούν τις πωλήσεις της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στο μακροδίκτυο.
- Οφέλη για το ενεργειακό σύστημα:
 - Βελτιώνουν την ολοκλήρωση κατανεμημένων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με το χειρισμό ευαίσθητων φορτίων και τη μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο.
 - Παρέχουν ένα πρώτο βήμα προς την πλήρη υλοποίηση του μελλοντικού Έξυπνου Δικτύου.
 - Δημιουργούν και διατηρούν αυτοθεραπευόμενα δίκτυα.
 - Αυξάνουν την ευελιξία όσον αφορά την κατασκευή και τη λειτουργία, παρέχοντας πολλαπλές πρόσθετες επιλογές υποδομής.
 - Αυξάνουν την ποικιλομορφία των τεχνολογιών καυσίμων και παραγωγής.
 - Βελτιώνουν την ενεργειακή ασφάλεια.
 - Προσελκύουν ιδιωτικές επενδύσεις, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο να προωθηθεί η καινοτομία στα ενεργειακά προϊόντα και στις υπηρεσίες.
 - Ενθαρρύνουν τις επενδύσεις τρίτων στο τοπικό δίκτυο και στην παροχή ισχύος.
 - Μειώνουν τις απώλειες του συστήματος μετάδοσης και του συστήματος διανομής.
 - Αναβάλλουν και μειώνουν τις ανάγκες για μελλοντικές υποδομές που αφορούν τη μεταφορά και τη διανομή υψηλής τάσης.
 - Μειώνουν τα φορτία αιχμής του συστήματος, με την προώθηση της διαχείρισης της ζήτησης και την εξομάλυνση του φορτίου, και παρέχουν ανακούφιση όσον αφορά την μετάδοση.
 - Αυξάνουν την ικανότητα των καταναλωτών να ανταποκρίνονται στις τιμές, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο να μειωθούν οι τιμές αιχμής του συστήματος.
 - Επιλύουν θέματα που αφορούν τη ρύθμιση της τάσης και την υπερφόρτιση.
 - Βελτιώνουν την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος, επιτρέποντας σε πολλαπλά φορτία να αποσυνδέονται ως απόκριση σε δύσκολες συνθήκες του δικτύου.

➤ Οφέλη για την κοινωνία:

- Μειώνουν τις εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.
- Μειώνουν τις συνολικές απαιτήσεις για χρήση γης που χρειάζονται τα ενεργειακά συστήματα.
- Μειώνουν την κατανάλωση νερού και την παραγωγή στερεών αποβλήτων.
- Αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και τη συμμετοχή των καταναλωτών στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα τη μείωση της αστάθειας των τιμών και την καθοδική πίεση στις τιμές των καυσίμων.
- Προωθούν την ενεργειακή ανεξαρτησία της κοινότητας και επιτρέπουν τη συμμετοχή της κοινότητας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αυξάνουν την οικονομική ανάπτυξη και ενισχύουν την απασχόληση.
- Παρέχουν ασφαλείς εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος του μακροδικτύου.

5.3 Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής (Virtual Power Plants)

Οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής πρόκειται να διαδραματίσουν ένα βασικό ρόλο στην ιδέα των Έξυπνων Δικτύων και στη μετάβαση προς εναλλακτικές πηγές ενέργειας, καθώς διασφαλίζουν βελτιωμένη ενσωμάτωση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο δίκτυο και στην αγορά ενέργειας.

Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής αποτελεί την τομή του Έξυπνου Δικτύου και της Διανεμημένης Ενέργειας [120]. Γι' αυτό και οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής αναδύονται ως μία από τις πολλές υποσχόμενες λύσεις τόσο για τη συγκέντρωση των Διανεμημένων Πηγών Ενέργειας (DERs), όσο και των καταναλωτών, των παραγωγών και των prosumers, δηλαδή των οντοτήτων που μπορούν να παράγουν ή να καταναλώνουν ενέργεια [121].

Τέλος, οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής είναι μία ιδέα που υπόσχεται να βελτιώσει την αξιοπιστία του συστήματος διανομής και ενδεχομένως να περιορίσει την ανάγκη για νέο δυναμικό παραγωγής σε περιόδους αιχμής, χάρη στις βελτιωμένες επικοινωνίες και στις τεχνολογίες απόκρισης [122].

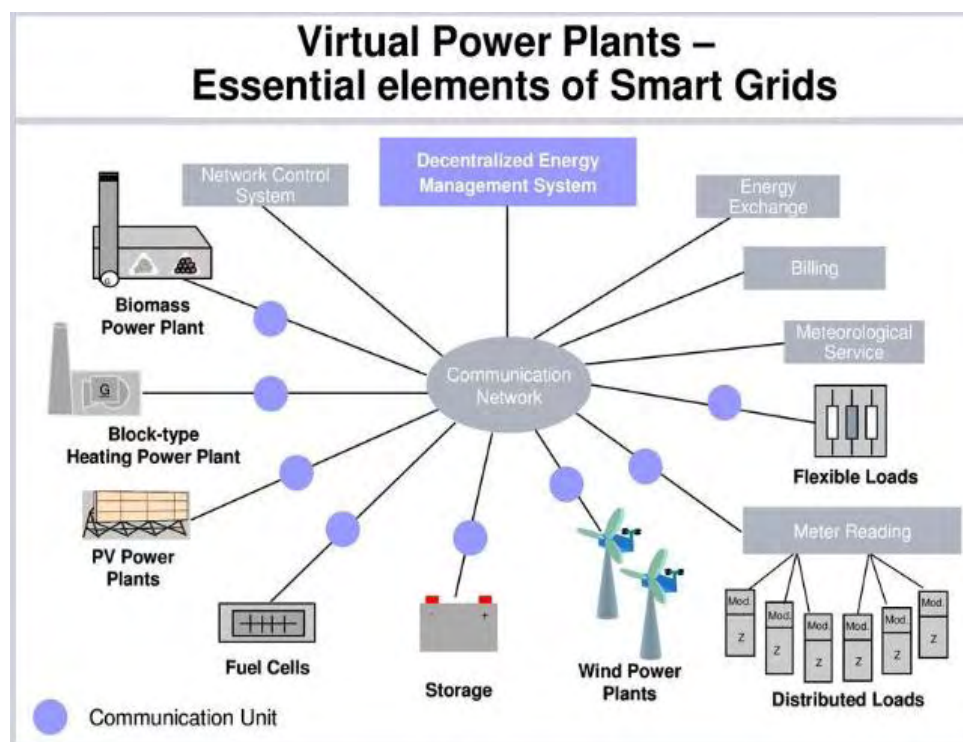
5.3.1 Τι είναι ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής;

Η έννοια των Εικονικών Σταθμών Παραγωγής δεν είναι καινούργια. Αυτήν η ιδέα πρωτοεμφανίστηκε από όταν άρχισαν οι πρώτες συζητήσεις για το πώς μπορεί να ενσωματωθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η αποθήκευση ενέργειας στο μίγμα της ενέργειας. Δεδομένου ότι το Έξυπνο Δίκτυο έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, μια τέτοια ιδέα στις μέρες μας δεν φαίνεται πλέον και τόσο αδύνατη.

Στην πραγματικότητα, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής (ΕΙΣΠ) δεν είναι μια πραγματική μονάδα παραγωγής ενέργειας. Δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Πρόκειται για μία μονάδα παραγωγής ενέργειας που δημιουργείται από την Τεχνολογία της Πληροφορικής. Στην πράξη, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής είναι μία μονάδα παραγωγής ενέργειας στον ψηφιακό κόσμο, η οποία δίνει τη δυνατότητα να παράγεται ενέργεια χρησιμοποιώντας πλέον τις δυνατότητες που παρέχουν τα Έξυπνα Δίκτυα, σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής υπάρχει μόνο στο λογισμικό που χρησιμοποιείται για να διαχειρίζεται τις διαφορετικές επιλογές και το οποίο γνωρίζει τις απαντήσεις και μπορεί, επιπλέον, να αποστέλλει λύσεις σε ηλεκτρική μορφή. [123]

Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής (VPP) μπορεί να οριστεί ως ένα δίκτυο από μικρές, διάσπαρτες, διασυνδεδεμένες γεννήτριες (ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες, μονάδες CHP (κινητήρες αερίου, αεριοστρόβιλοι), φωτοβολταϊκά συστήματα («solar energy parks»), εφεδρικές γεννήτριες, ευέλικτα φορτία, μπαταρίες, κ.λπ.), οι οποίες συνεργάζονται για να παρέχουν μία ενιαία, μεγάλη και σταθερή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει και σε ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής ενέργειας. Όλες αυτές οι μονάδες παραγωγής ενέργειας διοικούνται συλλογικά από έναν κεντρικό φορέα ελέγχου. Η συντονισμένη αυτή επιχειρησιακή λειτουργία έχει ως στόχο να οδηγήσει σε ένα επιπλέον όφελος, π.χ. να προσφέρει ή να ελαχιστοποιήσει το φορτίο αιχμής

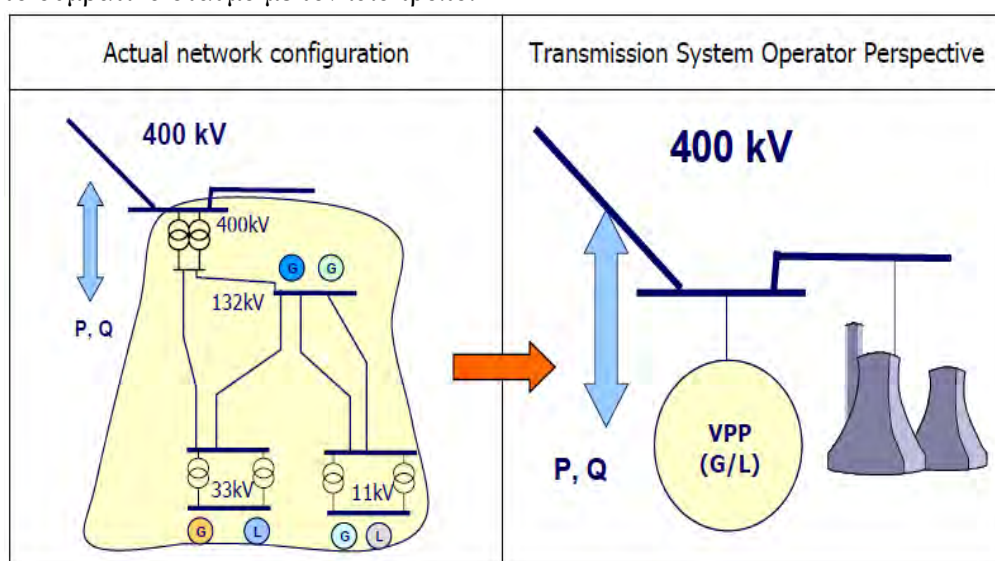
της ηλεκτρικής ενέργειας, να ισορροπήσει την ενέργεια σε σύντομο χρονικό διάστημα, κ.ά. [124][125][126]



Εικόνα 5.5: Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής[124]

Ένας τέτοιος Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να αντικαταστήσει ένα συμβατικό εργοστάσιο ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ευελιξία, και όπως είναι γνωστό, μια μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα επιτρέπει σ' αυτό να αντιδρά καλύτερα στις διακυμάνσεις. Ωστόσο, ένας ΕισΠ είναι, επίσης, ένα πολύπλοκο σύστημα που απαιτεί μια περίπλοκη και ασφαλής μέθοδο επικοινωνίας. [127]

Στην Εικόνα 5.6, βλέπουμε έναν εικονικό σταθμό παραγωγής δίπλα σε ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής που συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς, από όπου φαίνεται ότι ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς «βλέπει» τον Εικονικό Σταθμό Παραγωγής και το συμβατικό σταθμό με τον ίδιο τρόπο.



Εικόνα 5.6: Σχηματισμός ΕισΠ από ομάδα μονάδων ΑΠ[128]

Ένας συμβατικός σταθμός που συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς έχει ένα λειτουργικό προφίλ, το οποίο αποτελείται από τα χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως είναι το πρόγραμμα παραγωγής, τα όρια της παραγωγής και τα χαρακτηριστικά του κόστους λειτουργίας. Βάσει αυτού του προφίλ, μία μονάδα παραγωγής μπορεί να αλληλεπιδράσει άμεσα με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες στην αγορά, για να παρέχει υπηρεσίες και να συνάψει συμβόλαια. Μέσω άμεσης επικοινωνίας με το διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς ή μέσω συναλλαγών στην αγορά, ένας συμβατικός σταθμός που συνδέεται στο σύστημα μεταφοράς μπορεί να συνεισφέρει στο σύστημα. Η παραγόμενη ενέργεια και οι επικουρικές υπηρεσίες μπορούν να πωληθούν, μέσω συναλλαγών, στη χονδρική αγορά ή με απευθείας επαφή με παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν οι μονάδες ΔΠ λειτουργούν μόνες τους, συνήθως δεν έχουν την απαιτούμενη ισχύ, ελεγχσιμότητα και ευελιξία, ώστε να μπορούν να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες στο σύστημα και να συμμετέχουν στις αγορές. Αυτό μπορεί να συμβαίνει τόσο από τεχνικής πλευράς, όσο και από πλευράς οικονομικού συμφέροντος. Ωστόσο, με το σχηματισμό ενός ΕιΣΠ από διάφορες μονάδες ΔΠ, τα θέματα αυτά αντιμετωπίζονται.

Ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής είναι μία ευέλικτη αναπαράσταση μίας ομάδας μονάδων ΔΠ. Ο ΕιΣΠ δε συναθροίζει μόνο την εγκατεστημένη ισχύ των διάφορων μονάδων ΔΠ, αλλά επίσης δημιουργεί ένα ενιαίο λειτουργικό προφίλ από τη σύνθεση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την κάθε μονάδα ΔΠ και ενσωματώνει χωρικούς (δηλ. του δικτύου) περιορισμούς στην περιγραφή των δυνατοτήτων του συνδυασμού των μονάδων ΔΠ.

Ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής χαρακτηρίζεται από παραμέτρους που συνήθως σχετίζονται με ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής, όπως προγραμματισμένη έξοδος μονάδας, ρυθμοί μεταβολής εξόδου, δυνατότητα ρύθμισης τάσης, εφεδρεία, κ.λπ. Επιπλέον, καθώς ο ΕιΣΠ ενσωματώνει ελεγχόμενα φορτία, ως εκ τούτου οι παράμετροι, όπως η ελαστικότητα της τιμής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και στρατηγικές ανάκτησης φορτίου, θα χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό του ΕιΣΠ. Ο Πίνακας 5.1 αναφέρει μερικά παραδείγματα παραμέτρων πηγών και ελεγχόμενων φορτίων, οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν για ολόκληρη την ομάδα των μονάδων ΔΠ και ελεγχόμενων φορτίων και να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν τον ΕιΣΠ.

Δεδομένου ότι ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής θα συγκροτείται από έναν αριθμό μονάδων ΔΠ από διάφορες τεχνολογίες με διαφορετικές μεθόδους ελέγχου, τα χαρακτηριστικά του ΕιΣΠ μπορεί να διαφέρουν σημαντικά στο χρόνο. Επίσης, καθώς οι μονάδες ΔΠ που ανήκουν στον ΕιΣΠ συνδέονται σε διάφορα σημεία σε ένα δίκτυο διανομής, τα χαρακτηριστικά του δικτύου (τοπολογία δικτύου, αντιστάσεις και αντιδράσεις, απώλειες και περιορισμοί) παίζουν ρόλο στο συνολικό χαρακτηρισμό του ΕιΣΠ.

Παράμετροι γεννητριών	Παράμετροι ελεγχόμενων φορτίων
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Πρόγραμμα παραγωγής ▪ Όρια παραγόμενης ισχύος ▪ Εγκατεστημένη ισχύς έκτακτης ανάγκης ▪ Ικανότητα ενεργού και αέργου φόρτισης της γεννήτριας ▪ Ρυθμοί μεταβολής της εξόδου ▪ Χαρακτηριστική φορτίου -συχνότητας ▪ Ικανότητα ρύθμισης τάσης ▪ Επίπεδα σφαλμάτων ▪ Δυνατότητα αδιάλειπτης λειτουργίας σε σφάλμα ▪ Χαρακτηριστικά του καυσίμου ▪ Απόδοση ▪ Χαρακτηριστικά κόστους λειτουργίας 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Προγραμματισμός παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο ▪ Ελαστικότητα του φορτίου στις τιμές που διαμορφώνονται στις αγορές ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών ▪ Ελάχιστο και μέγιστο φορτίο που μπορεί να επαναπρογραμματιστεί ▪ Σχέδιο ανάκτησης φορτίου

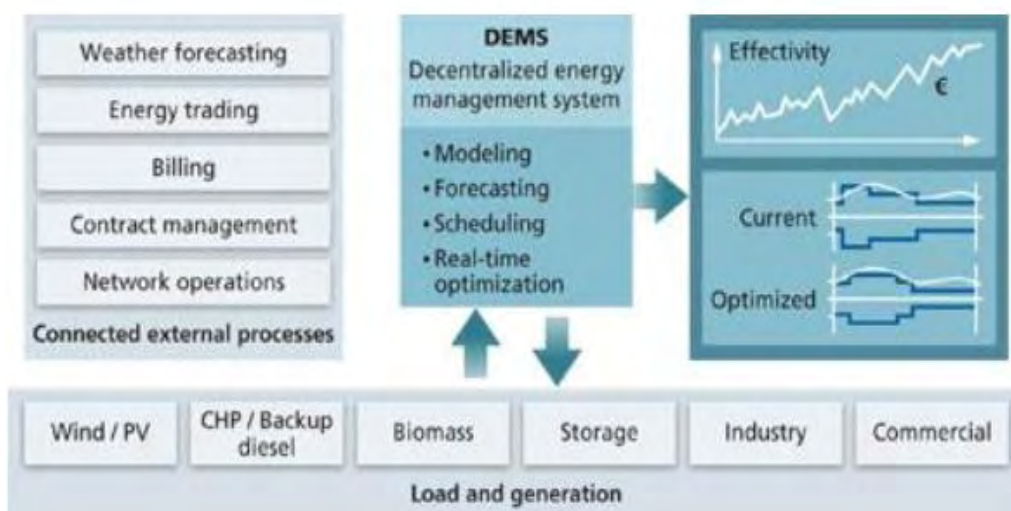
Πίνακας 5.1: Παραδείγματα παραμέτρων γεννητριών και ελεγχόμενων φορτίων με συνδυασμό των οποίων χαρακτηρίζεται ένας ΕιΣΠ [128]

Οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής, εκτός από το γεγονός ότι αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τα μειονεκτήματα των μεμονωμένων μονάδων ΔΠ, μπορούν επίσης να

συμμετάσχουν στις διάφορες αγορές ενέργειας (π.χ. προθεσμιακές αγορές και χρηματιστήριο ενέργειας), όπως και οι κλασικές μονάδες που συνδέονται στο σύστημα μεταφοράς. Επιπλέον, οι ΕισΠ είναι σε θέση να παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες στο σύστημα μεταφοράς (π.χ. ρύθμιση συχνότητας, ρύθμιση τάσης, κ.λπ.) στηρίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, εκτός της δυνατότητας στήριξης του συστήματος μεταφοράς, οι ΕισΠ μπορούν να συμβάλλουν και στην ενεργό διαχείριση των δικτύων διανομής. [128]

5.3.2 Πώς δουλεύει ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής

Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής βασίζεται στα λογισμικά συστήματα για την απομακρυσμένη και αυτόματη κατανομή φορτίου, καθώς επίσης και για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, της ζήτησης ή της αποθήκευσης των πόρων (συμπεριλαμβανομένων των plug-in ηλεκτρικών οχημάτων και των αμφίδρομων μετατροπέων) σε ένα ενιαίο και ασφαλή σύστημα το οποίο είναι συνδεδεμένο στο διαδίκτυο.

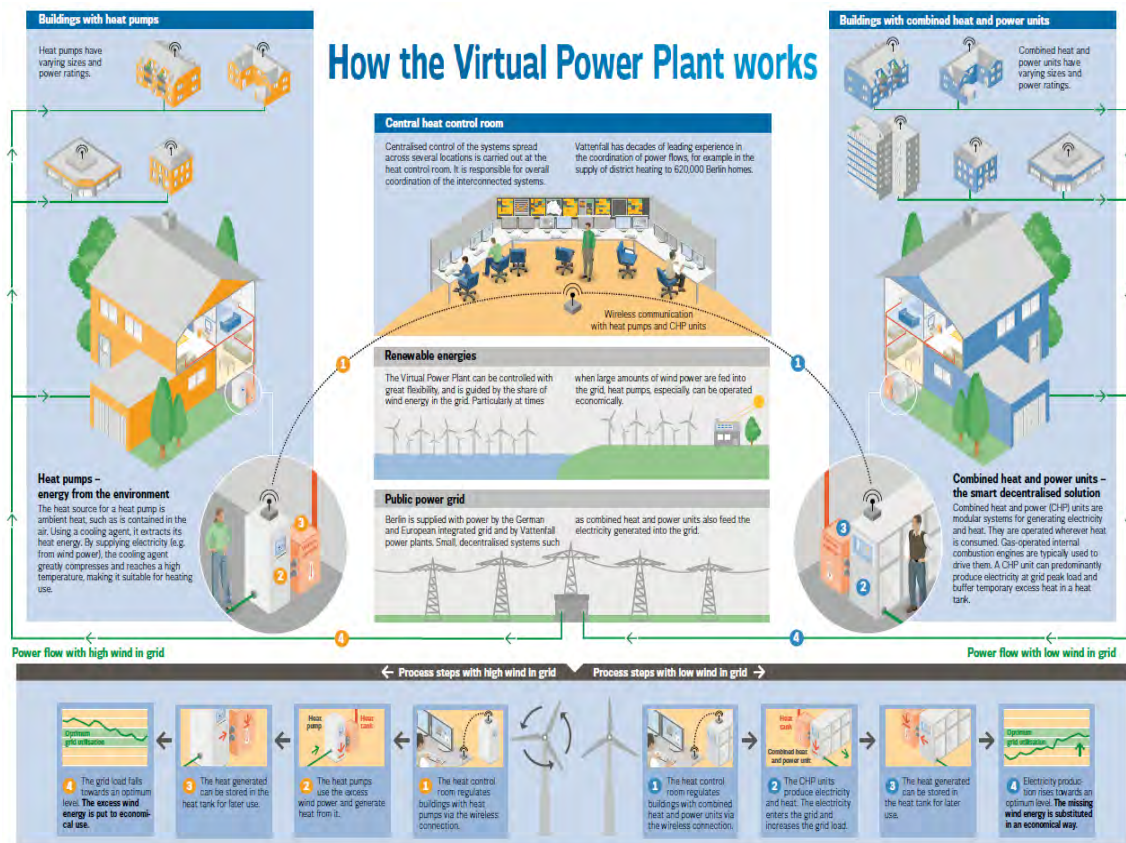


Εικόνα 5.7: Σχηματικά ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής [129]

Προκειμένου να φέρει διαφορετικούς, ανεξάρτητους πόρους σε ένα ενιαίο δίκτυο, απαιτείται σύνθετος σχεδιασμός και προγραμματισμός. Το βασικό συστατικό που κάνει όλη τη «δουλειά» είναι το λογισμικό. Υπάρχει ένα σύστημα διακομιστή (server system) το οποίο είναι εγκατεστημένο σε ένα δωμάτιο ελέγχου με κανάλια επικοινωνίας, όπως το κινητό τηλέφωνο ή συνδέσεις DSL, προκειμένου να συνδεθεί με το σύστημα διαχείρισης της ενέργειας.

Υπάρχουν πολλές προηγμένες εφαρμογές στο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας, όπως εφαρμογές πρόβλεψης, εφαρμογές προγραμματισμού και ένας αυτόματος έλεγχος παραγωγής. Ο Εικονικός Σταθμός Παραγωγής χρησιμοποιεί καιρικές προβλέψεις για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών και των θερμικών φορτίων που πρέπει να προσφέρονται, καθώς και για την πρόβλεψη της παραγωγής από ανανεώσιμες μονάδες. Στη συνέχεια, αυτές οι προβλέψεις χρησιμοποιούνται στην προγραμματιστική εφαρμογή, η οποία υπολογίζει το πρόγραμμα για ολόκληρο τον Εικονικό Σταθμό Παραγωγής και για όλους τους διανεμημένους ενεργειακούς πόρους. Ο διαχειριστής του Εικονικού Σταθμού Παραγωγής χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για να αγοράσει την ενέργεια και την ισχύ για την ανταλλαγή ενέργειας, ή ως τριτοβάθμια ή ως δευτερεύουσα εφεδρεία ελέγχου. [129]

Στην Εικόνα 5.8 περιγράφεται αναλυτικά πώς δουλεύει ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής στο Βερολίνο. Έτσι, σε έναν Εικονικό Σταθμό Παραγωγής, οι αποκεντρωμένες γεννήτριες ενέργειας, όπως είναι οι μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, και οι ενεργειακοί καταναλωτές, όπως είναι οι αντλίες θερμότητας, συνδέονται μαζί ως μία μονάδα η οποία είναι κεντρικά ελεγχόμενη. Αυτό εξασφαλίζει τη βέλτιστη ισορροπία στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και αφήνει περιθώρια για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, ενώ οι απαιτήσεις θέρμανσης καλύπτονται από τις αποκεντρωμένες γεννήτριες, η ισχύς που παράγεται κατά την ίδια στιγμή μπορεί να διοχετεύεται στο δίκτυο. [130]



Εικόνα 5.8: Πώς δουλεύει ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής στο Βερολίνο [130]

5.3.3 Οφέλη των Εικονικών Σταθμών Παραγωγής

Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να προσφέρει μια σειρά από πιθανά οφέλη. Αρχικά, η εφαρμογή του επιτρέπει στις διανεμημένες μονάδες παραγωγής να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά και οικονομικά. Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να βελτιστοποιήσει ολόκληρο το δίκτυο των καταναμημένων πόρων, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη χρήση της διαθέσιμης παραγωγικής δυναμικότητας. Επιπλέον, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, να μειώσει τα φορτία αιχμής και, το σημαντικότερο, να ανιχνεύει γρήγορα τις μεταβολές της ζήτησης του συστήματος.

Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί, επίσης, να έχει περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς είναι περισσότερο ευέλικτος από ό,τι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μεγάλη κεντροποιημένη παραγωγή ενέργειας, και ως εκ τούτου, μπορεί εύκολα να προσαρμόζεται στις αλλαγές, καθώς και στην ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρής κλίμακας. Ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να βελτιώσει τη συνολική απόδοση του δικτύου μέσω σημαντικής μείωσης των απωλειών στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα την περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας και τη συνολική μείωση των εκπομπών.

Όσον αφορά την αγορά, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται τα κανάλια πωλήσεων, που σε διαφορετική περίπτωση δεν θα ήταν διαθέσιμα στο διαχειριστή των μονάδων παραγωγής, επιτρέποντας έτσι περισσότερες επιλογές, οι οποίες μπορούν να διευκολύνουν την παράδοση και των πιο προσαρμοσμένων υπηρεσιών προς τους πελάτες.

Όσον αφορά τα λειτουργικά οφέλη, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να υποστηρίξει τη βελτιστοποίηση των καταναμημένων πόρων του δικτύου, όπως π.χ. την αποτελεσματική κατανομή των πόρων. Επιπλέον, ένας Εικονικός Σταθμός Παραγωγής μπορεί να παρέχει αξιόπιστες βελτιώσεις με τη μείωση του φορτίου αιχμής και με την γρήγορη ανίχνευση των μεταβολών της ζήτησης του συστήματος. Τέλος, μπορεί να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες και μπορεί να μειώνει την συμφόρηση στις γραμμές μεταφοράς. [120]

Κεφάλαιο 6

Η τεχνολογία της Πληροφορικής στα Έξυπνα Δίκτυα

6.1 Εισαγωγή

Οι τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών έχουν μπει πλέον παντού στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου, από τον τρόπο που ασκείται η εργασία μέχρι τη διασκέδαση και την επικοινωνία μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Παρόλα αυτά υπάρχει ένας τομέας της οικονομίας, ο τομέας της Ενέργειας στον οποίο οι τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών δεν έχουν διεισδύσει σε μεγάλο βαθμό.

Ο τομέας της Ενέργειας αποτελεί τη ραχοκοκαλιά κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας, αλλά είναι βασισμένος στην παραγωγή κυρίως από ορυκτούς πόρους και στη μη ορθολογική χρήση της στην κατανάλωση. Καθώς η ενέργεια είναι βασικό δομικό στοιχείο της ανάπτυξης, το κεντροποιημένο μοντέλο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ενέργειας που ακολουθήθηκε από κράτη και κυβερνήσεις τα προηγούμενα χρόνια στη λογική ότι η ενέργεια πρέπει να είναι δημόσιο αγαθό, σήμερα δεν είναι βιώσιμο.

Η παγκόσμια κοινότητα στρέφεται σταδιακά σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας, που βασίζεται πλήρως στις τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών, με στόχο την αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο επιτρέποντας την ορθολογική χρήση της σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Έτσι, οι τεχνολογίες ICT δημιουργούν σήμερα το Internet της Ενέργειας, αλλάζοντας σταδιακά τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος που από το κεντροποιημένο μοντέλο οδηγείται σταδιακά στο αποκεντρωμένο, παρέχοντας τη δυνατότητα στον οποιονδήποτε να είναι παραγωγός και καταναλωτής ενέργειας την ίδια στιγμή (Energy Procumer). [59]

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό, πως η τεχνολογία της πληροφορικής καλείται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των Έξυπνων Δικτύων. Βασικό χαρακτηριστικό του Έξυπνου Δικτύου είναι ότι ο πελάτης-καταναλωτής αποκτά ενεργό ρόλο στη λειτουργία του δικτύου. Ο ρόλος είναι ενεργός είτε επειδή ενδεχομένως έχει τοπική παραγωγή είτε επειδή ελέγχει, σε συνδυασμό με το τι συμβαίνει στο περιβάλλον του, τη συμπεριφορά του.

Σήμερα σχεδόν όλοι οι μικροί πελάτες του δικτύου και πολλοί από τους μεγάλους είναι απλά φορτία χωρίς καμία ουσιαστική συμμετοχή στη διαχείριση του συστήματος. Η απελευθέρωση, όμως, της αγοράς θα οδηγήσει πιθανότατα κάποια στιγμή στην ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών στη λειτουργία του συστήματος. Κάτι τέτοιο δεν θα μπορεί να συμβεί αν δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή για επικοινωνία και έλεγχο. Το κλασικό μοντέλο του κεντρικού συστήματος ελέγχου και εποπτείας θεωρείται πλέον ανεπαρκές για δύο λόγους: α) η απελευθέρωση της αγοράς συνεπάγεται τον περιορισμό του κεντρικού ελέγχου και β) η εισαγωγή πολλών μικρών μονάδων παραγωγής αλλά και στοιχείων ελέγχου

στο δίκτυο, συνεπάγεται ένα τεράστιο όγκο πληροφορίας που είναι πρακτικά αδύνατο να επεξεργαστεί σε ένα κεντρικό σημείο.

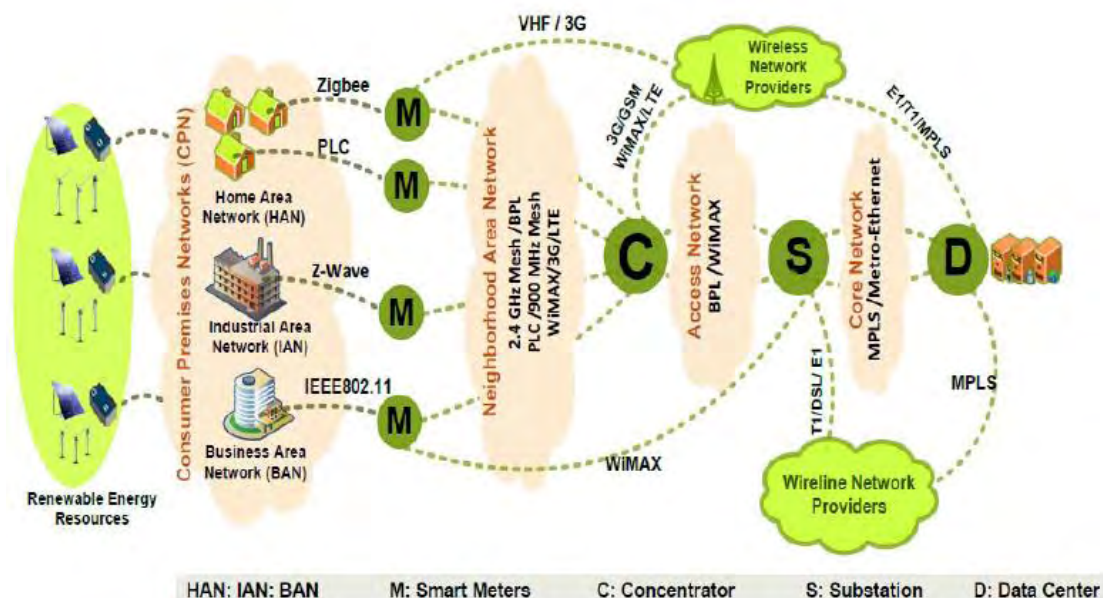
Μια από τις βασικότερες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων σαφώς και είναι το διαδίκτυο και οι τεχνολογίες που το ακολουθούν. Οι ευκολίες και το χαμηλό κόστος λειτουργίας που παρέχει το διαδίκτυο το καθιστά σαν την κύρια πλατφόρμα ανάπτυξης των όποιων συστημάτων πληροφορικής.

6.2 Αρχιτεκτονική του Έξυπνου Δικτύου Επικοινωνίας

Η υποδομή επικοινωνίας στο Έξυπνο Δίκτυο πρέπει να υποστηρίζει τις αναμενόμενες λειτουργικές δυνατότητες και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις επίδοσης. Καθώς η υποδομή αυτή συνδέει ένα τεράστιο αριθμό ηλεκτρικών συσκευών και διαχειρίζεται την περίπλοκη επικοινωνία τους, είναι οργανωμένη σε μια ιεραρχική υποδομή με διασυνδεδεμένα επιμέρους υποδίκτυα, το καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ξεχωριστή γεωγραφική περιοχή. [60]

Γενικά, το Έξυπνο Δίκτυο περιλαμβάνει δύο είδη επικοινωνίας: το HAN (Home Area Network) και το WAN (Wide Area Network). Ένα HAN συνδέει έξυπνες συσκευές του σπιτιού με έναν έξυπνο μετρητή. Το HAN μπορεί να επικοινωνεί χρησιμοποιώντας Zigbee, ενσύρματη ή ασύρματη σύνδεση Ethernet ή Bluetooth. Ένα WAN, από την άλλη, είναι ένα μεγαλύτερο δίκτυο, το οποίο περιλαμβάνει έξυπνους μετρητές, παρόχους υπηρεσιών και εταιρίες ηλεκτρισμού. Ένα WAN επικοινωνεί χρησιμοποιώντας WiMAX, 3G/GSM/LTE, ή οπτικές ίνες. Οι ηλεκτρικές εταιρίες διαχειρίζονται τη διανομή της ενέργειας μέσα στο Έξυπνο Δίκτυο, συλλέγοντας την κατανάλωση ενέργειας ανά κάποια χρονική περίοδο από τους έξυπνους μετρητές και στέλνοντας ειδοποιήσεις στους έξυπνους μετρητές όταν αυτό απαιτείται. Οι έξυπνοι μετρητές λαμβάνουν μηνύματα από τις συσκευές μέσα στο HAN και τις στέλνουν στον κατάλληλο πάροχο υπηρεσιών.

Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός από τα HANs τα οποία χρησιμοποιούνται σε κατοικίες, υπάρχουν τα BANs (Business Area Networks) και τα IANs (Industrial Area Networks) τα οποία χρησιμοποιούνται σε γραφεία επιχειρήσεων και σε βιομηχανικές περιοχές αντίστοιχα. [61]



Εικόνα 6.1: Βασική αρχιτεκτονική του Έξυπνου Δικτύου [61]

6.3 Η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του Έξυπνου Δικτύου

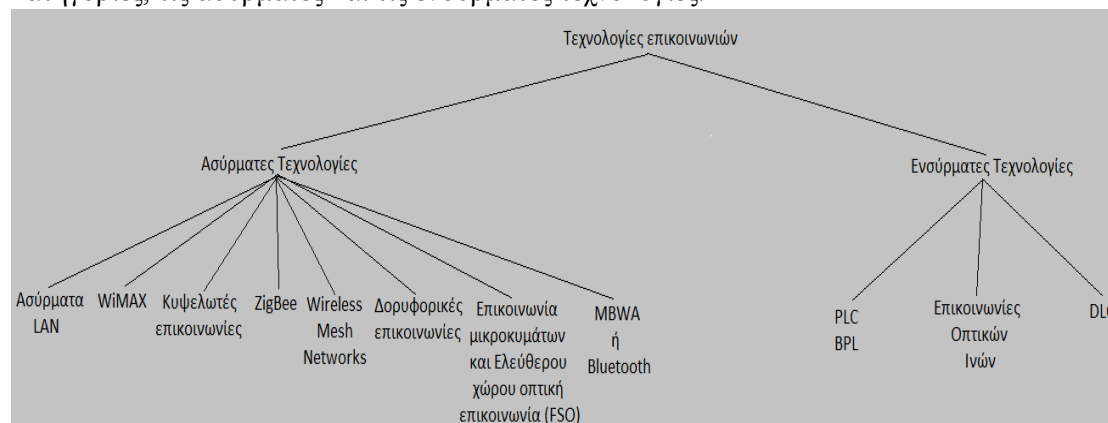
Οι απαιτήσεις ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου μερικές φορές μπορεί να είναι δύσκολο να οριστούν ειδικά σε εφαρμογές, που τώρα αναδύονται, όπως τα Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας. Οι δύο, όμως, πιο σημαντικοί παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη είναι η απόδοση του καναλιού (throughput), που συχνά αναφέρεται και ως ταχύτητα ή εύρος ζώνης, και η καθυστέρηση καναλιού (latency). Αν οι στόχοι που τίθενται γι' αυτούς τους

παράγοντες δεν επιτευχθούν, το σύστημα δεν έχει καμία πιθανότητα επιτυχίας. Παράγοντες που έπονται αλλά είναι επίσης σημαντικοί, είναι η αξιοπιστία και η ασφάλεια.

Πολλές τεχνολογίες δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα Έξυπνο Δίκτυο στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και στο τελικό επίπεδο των καταναλωτών, αλλά καμία από αυτές δεν ταιριάζει απόλυτα σε όλες τις εφαρμογές. Κάποια τεχνολογία ή ακόμα καλύτερα ένα υποσύνολο τεχνολογιών θα ταιριάζει περισσότερο σε εφαρμογές συγκεκριμένου τομέα ή σε εφαρμογές που έχουν παρόμοιες επικοινωνιακές ανάγκες.

Η υιοθέτηση των διάφορων τεχνολογιών για τις επικοινωνίες των Έξυπνων Δικτύων θα εξαρτηθεί τελικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου και τις καθορισμένες απαιτήσεις. Μικρές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, για παράδειγμα, μπορεί να εκμεταλλευθούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα και να συνεργαστούν με άλλους ώστε να μειώσουν το κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος. Αντιθέτως, οι μεγάλες επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να φτιάξουν το δικό τους δίκτυο για να αποφύγουν την κοινή χρήση εύρους ζώνης, με στόχο να έχουν μεγαλύτερα κέρδη από το επενδυμένο κεφάλαιο. Επιπλέον, οι γεωγραφικές ανάγκες, οι στόχοι του έργου αλλά και οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που θα διατίθενται στους καταναλωτές θα επηρεάσουν τις επιλογές των τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν.

Έτσι, λοιπόν, με κριτήριο τις απαιτήσεις του Έξυπνου Δικτύου έχουν προταθεί αρκετές λύσεις για την υλοποίηση του συστήματος επικοινωνιών, η κάθε μία από τις οποίες εμφανίζει πλεονεκτήματα σε κάποιες περιπτώσεις και μειονεκτήματα σε άλλες. Οι επιλογές για τη μετάδοση δεδομένων στο Έξυπνο Δίκτυο κατηγοριοποιούνται σε δύο ευρύτερες κατηγορίες, τις ασύρματες και τις ενσύρματες τεχνολογίες.



Διάγραμμα 6.1: Κατηγοριοποίηση των υποψήφιων Τεχνολογιών Επικοινωνίας

6.3.1 Ασύρματες Τεχνολογίες (Wireless Technologies)

Οι ασύρματες τεχνολογίες προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ενσύρματες (μικρό κόστος εγκατάστασης, κινητικότητα, κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών, γρήγορη εγκατάσταση, κ.ά.) και έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως στην καθημερινή μας ζωή, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν παντού και οποιαδήποτε στιγμή [41][62].

Ωστόσο, τα σήματα στις ασύρματες επικοινωνίες υφίστανται σημαντική εξασθένηση λόγω μετάδοσης και αντιμετωπίζουν παρεμβολές από το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα ασύρματα δίκτυα συνήθως παρέχουν συνδέσεις μικρών αποστάσεων με συγκριτικά χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων και συνήθως χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσιών [62]. Έτσι, πριν τη χρήση της κάθε τεχνολογίας στο περιβάλλον των Έξυπνων Δικτύων θα πρέπει να διευθετηθούν ορισμένες προκλήσεις. Κάποιες κοινές ανησυχίες για τις ασύρματες τεχνολογίες είναι οι εξής:

- 1) Οι ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων είναι πιο ευάλωτες σε φαινόμενα θορύβου και παρεμβολής.
- 2) Οι ασύρματες τεχνολογίες με αδειοδοτημένο φάσμα αντιμετωπίζουν λιγότερες παρεμβολές, αλλά είναι συγκριτικά μια δαπανηρή λύση.
- 3) Η ασφάλεια για τα ασύρματα μέσα επικοινωνίας είναι, εκ φύσεως, μικρότερη.

Στη συνέχεια, παραθέτονται κάποιες ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας που μπορεί να εφαρμοστούν από τα μελλοντικά Έξυπνα Δίκτυα:

- ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN),
- WiMAX,
- κυψελωτές επικοινωνίες (Cellular network Communication),
- ZigBee,
- ασύρματα δίκτυα πλέγματος (Wireless Mesh Networks, WMN),
- δορυφορικές επικοινωνίες,
- ψηφιακή τεχνολογία μικροκυμάτων (Digital Microwave Technology),
- ελεύθερου χώρου οπτική επικοινωνία (Free-space optical communication, FSO),
- Mobile Broadband Wireless Access (MBWA),
- Bluetooth.

6.3.1.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN), βασισμένα στο πρότυπο IEEE 802.11, παρέχουν εύρωστη, υψηλής ταχύτητας επικοινωνία σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και σημείου-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint), σε ρυθμούς των 1Mbps και 2Mbps. Στο πρότυπο αυτό υιοθετήθηκε τεχνολογία απλωμένου φάσματος που επιτρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη συχνοτήτων από πολλούς χρήστες με ελάχιστη παρεμβολή σε άλλους χρήστες. Το πρότυπο IEEE 802.11b, γνωστό επίσης και ως Wi-Fi, προσφέρει μέγιστο ρυθμό δεδομένων στα 11Mbps και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz με διαμόρφωση DSSS. Επιπλέον, πρόσφατα διαθέσιμες τεχνολογίες βασισμένες στο IEEE 802.11a και 802.11g μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς μέχρι 54 Mbps. Το IEEE 802.11a λειτουργεί στα 5.4GHz με OFDM διαμόρφωση και το IEEE 802.11g, γνωστό ως ενισχυμένο Wi-Fi, λειτουργεί στα 2.4GHz με DSSS διαμόρφωση. Το IEEE 802.11n, βασισμένο σε τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output) προορίζεται να αυξήσει τους ρυθμούς μεταφοράς, φτάνοντας τα 600Mbps, ενώ το IEEE 802.11i, γνωστό ως WPA-2, ενισχύει την ασφάλεια στα ασύρματα LANs χρησιμοποιώντας προηγμένα πρότυπα κρυπτογράφησης (AES).

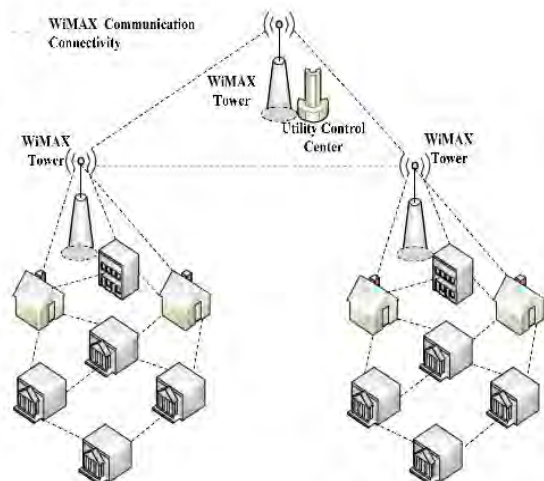
Η εφαρμογή ασύρματων LAN πλεονεκτεί σε σχέση με τα ενσύρματα γιατί είναι εύκολο να εγκατασταθούν, λιγότερο ακριβά και παρέχουν κινητικότητα των συσκευών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως στον αυτοματισμό και την προστασία υποσταθμών διανομής και στην απεικόνιση και τον έλεγχο των καταναμεμένων ενεργειακών πόρων (DERs), ειδικά σε περιπτώσεις απομακρυσμένων, μικρών υποσταθμών και DERs, όπου οι απαιτήσεις για ρυθμούς μετάδοσης και ασύρματες παρεμβολές είναι συγκριτικά χαμηλότερες. [63]

6.3.1.2 WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX (Worldwide inter-operability for Microwave Access) είναι μέρος της σειράς προτύπων 802.16 για δίκτυα WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Κύριος στόχος του WiMAX είναι να επιτύχει διαλειτουργικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο για μικροκυματική πρόσβαση. Το 2001, όταν εκδόθηκε το πρώτο σχέδιο του IEEE 802.16, όριζε το ευρύ φάσμα των 10-66GHz για τις επικοινωνίες. Κατόπιν, δημοσιεύτηκε ένα υποσύνολο του φάσματος για διαλειτουργικότητα. Στις σταθερές επικοινωνίες αφιερώθηκαν οι ζώνες 3.5GHz και 5.8GHz, ενώ στις κινητές επικοινωνίες ανατέθηκαν οι ζώνες 2.3GHz, 2.5GHz και 3.5GHz. Τα φάσματα των 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz είναι αδειοδοτημένα, ενώ των 5.8GHz είναι μη αδειοδοτημένο. Το WiMAX παρέχει ρυθμούς δεδομένων μέχρι 70Mbps και απόσταση κάλυψης ως 48km. Ωστόσο, η κάλυψη και η ταχύτητα του δικτύου είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα το ένα προς το άλλο. Τα αδειοδοτημένα φάσματα επιτρέπουν μετάδοση υψηλότερης ισχύος και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, κάτι που τα καθιστά πιο κατάλληλα για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Μερικές από τις εφαρμογές των Έξυπνων Δικτύων όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το WiMAX είναι:

- 1) αυτόματο ασύρματο σύστημα ανάγνωσης μετρητών (Wireless Automatic Meter Reading, WAMR),
- 2) τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Real-time Pricing), και
- 3) ανίχνευση και αποκατάσταση διακοπής λειτουργίας.



Εικόνα 6.2: Επικοινωνία WiMAX για WAMR [63]

Στα πλεονεκτήματα της σημερινής τεχνολογίας WiMAX συμπεριλαμβάνονται το μικρότερο κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας, η ομαλή επικοινωνία, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (ως τα 75Mbps), το επαρκές εύρος ζώνης και η επεκτασιμότητα.

Ένα από τα αρνητικά του WiMAX είναι ότι το εύρος ζώνης διαμοιράζεται με τους χρήστες. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι συχνότητες πάνω από 10GHz δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω εμποδίων. Έτσι, ειδικά για αστικές περιοχές, οι χαμηλότερες συχνότητες είναι πιο χρήσιμες, όμως έχουν ήδη αδειοδοτηθεί. Άρα, ο πιο πιθανός τρόπος να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι των Έξυπνων Δικτύων αυτήν την τεχνολογία είναι να τη μισθώσουν από άλλον. Επίσης, το WiMAX παρουσιάζει ασυμμετρία των ταχυτήτων στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου, ενώ το trade off μεταξύ απόστασης και ρυθμού μετάδοσης αποτελεί μια ακόμη αδυναμία. [63]

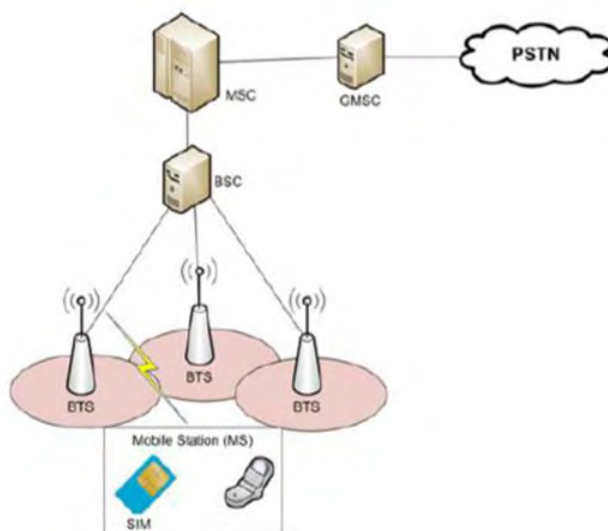
6.3.1.3 Κυψελωτές επικοινωνίες (Cellular network communication)

Μία άλλη προτεινόμενη λύση είναι η αξιοποίηση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, το οποίο έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ήδη εγκατεστημένο. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δομούνται κατά κυψέλες και γι' αυτό το λόγο αποκαλούνται κυψελωτά δίκτυα. Η γεωγραφική περιοχή κάλυψης χωρίζεται σε κυψέλες, η κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιεί διαφορετικό σύνολο συχνοτήτων από τις γειτονικές της, ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή και να παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης εντός των ορίων της.

Κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθερό σταθμό βάσης (Base Station, BS), ο οποίος αναλαμβάνει την αποστολή και λήψη δεδομένων από τους κινητούς κόμβους (Mobile Station, MS) της κυψέλης. Οι σταθμοί βάσης επικοινωνούν με τους σταθμούς μεταγωγής (Mobile Switching Center, MSC), όπου μέσω μιας πύλης MSC (Gateway MSC, GMSC), το κυψελωτό δίκτυο διασυνδέεται με το δίκτυο τηλεφωνίας PSTN. Τα βασικά πρότυπα κυψελωτών δικτύων σήμερα είναι το GSM (2nd Generation) και οι 3G (3rd Generation) και 4G (4th Generation) τεχνολογίες, οι οποίες λειτουργούν στο φάσμα 824-894MHz/1900MHz, που είναι οι αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων. Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων αυτής της τεχνολογίας έχουν βελτιωθεί τελευταία, αλλά η απόσταση κάλυψης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της κυψελωτής υπηρεσίας.

Το υπάρχον δίκτυο κυψελωτών επικοινωνιών είναι μια καλή επιλογή τόσο για την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων μετρητών και των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, όσο και μεταξύ απομακρυσμένων κόμβων. Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνιών, οι επιχειρήσεις αποφεύγουν σημαντικό κόστος και χρόνο που θα απαιτούνταν για τη δημιουργία μιας νέας και αποκλειστικής υποδομής.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, το σημαντικότερο είναι ότι τα κυψελωτά δίκτυα υπάρχουν ήδη. Έτσι, οι πάροχοι δεν θα επιβαρυνθούν με κόστος κατασκευής. Επιπλέον, παρέχεται επαρκές εύρος ζώνης για αρκετές από τις εφαρμογές, ενώ με την πρόσφατη ανάπτυξη στις 3G/4G τεχνολογίες, ο ρυθμός δεδομένων και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) βελτιώνονται πολύ γρήγορα.

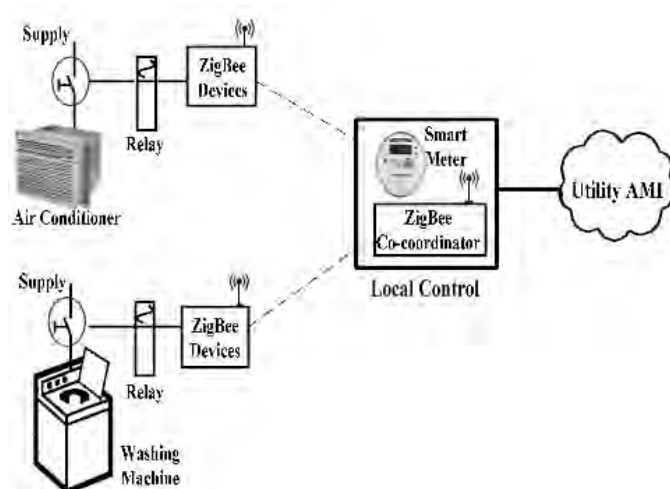


Εικόνα 6.3: Αρχιτεκτονική κυψελωτού δικτύου

Από την άλλη, μερικές κρίσιμες εφαρμογές των Έξυπνων Δικτύων χρειάζονται αδιάλειπτη διαθεσιμότητα επικοινωνιών. Ωστόσο, το κυψελωτό δίκτυο θα χρησιμοποιείται παράλληλα και από την αγορά των καταναλωτών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση του δικτύου ή μείωση της επίδοσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ακόμη, οι κυψελωτές επικοινωνίες είναι πιθανόν ακατάλληλες για εφαρμογές που σχετίζονται με πολλά δεδομένα και απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. [63][64]

6.3.1.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μια αξιόπιστη, αποτελεσματική ως προς το κόστος, ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών, σχετικά χαμηλή σε κατανάλωση ισχύος, ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, κόστος εφαρμογής και πολυπλοκότητα. Είναι ιδανική τεχνολογία για έξυπνο φωτισμό, παρακολούθηση της ενέργειας, οικιακό αυτοματισμό, κ.λπ. Το ZigBee και το ZigBee Smart Energy Profile (SEP) έχουν αναγνωριστεί ως τα πιο κατάλληλα πρότυπα για εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου στον οικιακό τομέα. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ζώνη των 868MHz στην Ευρώπη, 915MHz στην Βόρεια Αμερική και 2.4GHz παγκοσμίως. Στη ζώνη των 2.4GHz, που λειτουργούν πιο συχνά οι πομποδέκτες, έχει 16 κανάλια εύρους 5MHz το καθένα και χρησιμοποιεί την OQPSK τεχνική διαμόρφωσης. Επιλέγεται αυτό το σχήμα, που είναι μια παραλλαγή της κλασσικής QPSK, επειδή απαιτεί λιγότερη ισχύ συγκριτικά με παρόμοια σχέδια διαμόρφωσης, ενώ επιτυγχάνει την ίδια ή καλύτερη απόδοση (throughput). Το ZigBee προσφέρει ρυθμούς δεδομένων 20-250Kbps και κάλυψη 10-100m.



Εικόνα 6.4: Έλεγχος των οικιακών συσκευών χρησιμοποιώντας την τεχνολογία ZigBee σε ένα έξυπνο σπίτι [63]

Θεωρείται πολύ καλή επιλογή για μετρήσεις (metering) και διαχείριση ενέργειας και είναι ιδανικό για εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων χάρη στην απλότητα, την κινητικότητα που παρέχει, την ευρωστία, τις χαμηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης, τη λειτουργία του σε μη αδειοδοτημένο φάσμα, την ευκολία εφαρμογής του και στο γεγονός ότι είναι ένα ασφαλές πρωτόκολλο.

Επιπλέον, το πρωτόκολλο αυτό είναι κατάλληλο για το Έξυπνο Δίκτυο, ιδιαίτερα στο τμήμα εκείνο του δικτύου το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στον τελικό χρήστη. Αυτό οφείλεται στο ότι καταναλώνει χαμηλή ενέργεια και, αν και επιτρέπει μετάδοση δεδομένων υπό χαμηλούς ρυθμούς, οι ρυθμοί αυτοί αρκούν για τα δεδομένα μετρήσεων των οικιακών καταναλωτών.

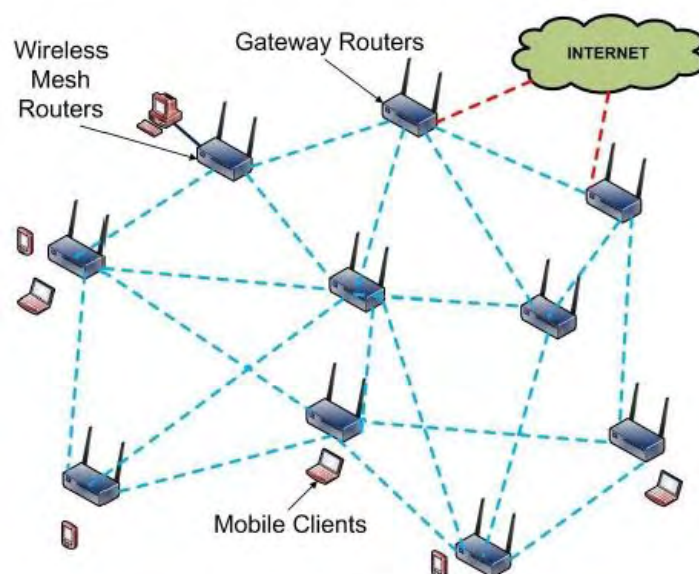
Υπάρχουν, όμως, κάποιοι περιορισμοί στη χρήση του ZigBee σε πρακτικές εφαρμογές, όπως οι μικρές ικανότητες επεξεργασίας, το μικρό μέγεθος μνήμης, οι μικρές απαιτήσεις καθυστέρησης και οι παρεμβολές από άλλες συσκευές που μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης. [63][64]

6.3.1.5 Ασύρματα δίκτυα πλέγματος (Wireless Mesh Networks, WMN)

Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος είναι δίκτυα επικοινωνιών. Η διαφορά τους με τα παραδοσιακά δίκτυα έγκειται στο γεγονός ότι δεν στηρίζονται σε κάποιον κεντρικό δρομολογητή/μεταγωγέα. Αντιθέτως, τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος αποτελούνται από διάσπαρτους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για την εξεύρεση μιας διαδρομής δρομολόγησης των δεδομένων, με στόχο να διαβιβαστούν στον κεντρικό δρομολογητή/κόμβο. Τα δεδομένα, δηλαδή, δεν φτάνουν στον δρομολογητή απευθείας, όπως συμβαίνει σε πρωτόκολλα όπως το 3G και το IEEE 802.11, αλλά μέσω των κόμβων που επιλέγονται διαδοχικά. Ανά πάσα στιγμή, νέοι κόμβοι μπορούν να ενταχθούν στην ομάδα και κάθε κόμβος μπορεί να δράσει ως ανεξάρτητος δρομολογητής.

Τα WMNs συνήθως αποτελούνται από πελάτες πλέγματος (mesh clients), δρομολογητές πλέγματος (mesh routers) και πύλες. Οι πελάτες είναι συχνά φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και άλλες ασύρματες συσκευές, ενώ οι δρομολογητές πλέγματος προωθούν κίνηση από και προς τις πύλες, οι οποίες μπορούν, αλλά δεν είναι απαραίτητο, να είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Η περιοχή κάλυψης των ραδιοκόμβων, που λειτουργεί ως ένα ενιαίο δίκτυο, καλείται μερικές φορές «σύννεφο πλέγματος».

Τα δίκτυα αυτά είναι αξιόπιστα και προσφέρουν πλεονασμό. Αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν, επίσης, την ιδιότητα της αυτο-θεραπείας, που επιτρέπει στα σήματα επικοινωνιών να βρίσκουν εναλλακτική διαδρομή μέσω των ενεργών κόμβων, σε περίπτωση που οποιοσδήποτε κόμβος εγκαταλείψει το δίκτυο.



Εικόνα 6.5: Παράδειγμα Wireless Mesh Network [65]

Τα δίκτυα αυτά θεωρούνται κατάλληλες λύσεις για το Έξυπνο Δίκτυο, καθώς είναι αξιόπιστα. Όταν κάποιος κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας, οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να προσδιορίσουν, αυτόνομα και σε μικρό χρόνο, εναλλακτική διαδρομή έτσι ώστε η δρομολόγηση των δεδομένων να μην αποκοπεί. Επιπλέον, τα WMNs διαθέτουν τη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς. [41][62][64][65]

6.3.1.6 Δορυφορικές επικοινωνίες (Satellite communications)

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια καλή λύση για τον απομακρυσμένο έλεγχο και την παρακολούθηση, αφού παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και γρήγορη εγκατάσταση. Σε ορισμένα σενάρια όπου δεν υπάρχει υποδομή επικοινωνίας, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένους υποσταθμούς και παραγωγή, οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση. Τέτοιου είδους επικοινωνία μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί και απαιτεί μόνο την απόκτηση του απαραίτητου εξοπλισμού δορυφορικής επικοινωνίας. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ορισμένες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ήδη εγκαταστήσει τέτοιο εξοπλισμό για την παρακολούθηση των αγροτικών υποσταθμών.

Επιπλέον, καθώς μια αποκλειστικά επίγεια αρχιτεκτονική είναι ευάλωτη σε καταστροφές ή βλάβες του συστήματος επικοινωνίας, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και η παράδοση της κρίσιμης κίνησης δεδομένων σε περιπτώσεις καταστροφών ή βλαβών του επίγειου συστήματος επικοινωνιών, οι δορυφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρικό σύστημα για τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθούν και τα μειονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών, καθώς υπάρχουν κάποιες σημαντικές αδυναμίες:

- 1) Ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει σημαντικά υψηλότερη καθυστέρηση (150-300 ms) από αυτήν ενός επίγειου συστήματος. Αυτό καθιστά κάποια πρωτόκολλα, π.χ. TCP, τα οποία είχαν αρχικά σχεδιαστεί για επίγεια επικοινωνία, ακατάλληλα για τις δορυφορικές επικοινωνίες.
- 2) Τα χαρακτηριστικά ενός δορυφορικού καναλιού ποικίλλουν ανάλογα με την επίδραση της εξασθένησης και τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την επίδοση ολόκληρου του συστήματος επικοινωνίας.
- 3) Ένα δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει αρκετά υψηλό κόστος. [62]

6.3.1.7 Ψηφιακή τεχνολογία μικροκυμάτων (Digital microwave technology)

Η τεχνολογία αυτή λειτουργεί στην αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων των 2-40GHz και παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως 155Mbps. Η μικροκυματική τεχνολογία προσφέρει κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων, έως 60km. Δέχεται δεδομένα από τη θύρα Ethernet ή ATM και τα μεταφέρει στην άλλη σαν μικροκύματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα Έξυπνα Δίκτυα για να υποστηρίξει επικοινωνία σημείου προς σημείο, αλλά είναι επιρρεπής σε δυο είδη εξασθένησης σήματος, παρεμβολές λόγω πολλαπλών διαδρομών (multipath interference) και λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Τέλος, η κρυπτογράφηση, για λόγους ασφαλείας, μπορεί να επιφέρει πρόσθετη καθυστέρηση καθώς χρειάζεται μεγαλύτερου μεγέθους μηνύματα. [63]

6.3.1.8 Ελεύθερου χώρου οπτική επικοινωνία (Free-space optical communication)

Η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου είναι μια τεχνολογία οπτικής επικοινωνίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει το φως που μεταδίδεται στον ελεύθερο χώρο για τη μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης με χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων bit. Επιπρόσθετα, είναι πολύ ασφαλής λόγω της υψηλής κατευθυντικότητας και της στενότητας των ακτίνων. Πέρα από την παροχή μεγάλων αποστάσεων σημείου-προς-σημείο επικοινωνίας σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές, οι ασύρματες οπτικές τεχνολογίες παρέχουν επίσης λύσεις σημείου-προς-σημείο για χρήση σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου οι λύσεις μικροκυμάτων δεν είναι πρακτικές από τη σκοπιά της παρεμβολής. Ωστόσο, η οπτική επικοινωνία ελεύθερου χώρου, όπως και η τεχνολογία μικροκυμάτων, είναι τεχνολογίες οπτικής επαφής (line-of-sight, LOS). Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά και η ποιότητα της επικοινωνίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα εμπόδια (π.χ. από κτήρια και λόφους) και από περιβαλλοντικούς περιορισμούς (π.χ. βροχή). [66]

6.3.1.9 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)

Το πρότυπο 802.20 για MBWA παρέχει υψηλό εύρος ζώνης, μεγάλη κινητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση (latency) στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 3.5GHz, χρησιμοποιώντας τα θετικά χαρακτηριστικά των IEEE 802.11 WLANs και IEEE 802.16 WMANs. Είναι, επίσης, γνωστό ως MobileFi. Προσφέρει σε πραγματικό χρόνο μέγιστο ρυθμό δεδομένων από 1Mbps έως 20Mbps. Αυτό το πρότυπο βελτιστοποιείται για να παρέχει πλήρη κινητικότητα μέχρι και ταχύτητα οχημάτων των 250km/h.

Το IEEE 802.20 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές Έξυπνων Δικτύων, όπως ευρυζωνική επικοινωνία για plug-in ηλεκτρικά οχήματα, για απεικόνιση ή στα συστήματα SCADA. Καθώς, όμως, είναι μία νέα αναδυόμενη τεχνολογία, δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμες υποδομές επικοινωνίας για αυτή και, επί του παρόντος, η χρήση της μπορεί να είναι μια δαπανηρή επιλογή. [63]

6.3.1.10 Bluetooth

Το Bluetooth συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Network, WPAN). Είναι πρότυπο χαμηλής ισχύος και μικρού εύρους φάσματος. Λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ISM ζώνη των 2.4-2.4835GHz και παρέχει ρυθμό μεταφοράς 721Kbps. Οι συσκευές με ρύθμιση Bluetooth αποτελούνται από την πλήρη δομή 7 επιπέδων κατά OSI. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να διευκολύνει τόσο την επικοινωνία σημείου προς σημείο, όσο και σημείου προς πολλαπλά σημεία. Ανάλογα με τη ρύθμιση παραμέτρων της επικοινωνίας, προσφέρει κάλυψη μεταξύ 1m-100m. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τοπικές, online εφαρμογές απεικόνισης ως μέρος των συστημάτων αυτοματισμού των υποσταθμών. [63]

Ασύρματη Τεχνολογία	Ρυθμός Δεδομένων	Κάλυψη (προσεγγιστικά)	Πιθανές εφαρμογές σε έξυπνα δίκτυα
Ασύρματα LAN	1-54Mbps	100m	Προστασία και αυτοματισμός της διανομής
WiMAX	70Mbps	48km	WMAR (Wireless Automatic Meter Reading)
Κυψελωτές	60-240Kbps	10-50m	SCADA και παρακολούθηση απομακρυσμένης διανομής
ZigBee	20-250Kbps	10-100m	Άμεσος έλεγχος φορτίου οικιακών συσκευών
MobileFi	20Mbps	Vehicular Std.	Επικοινωνία για PEVs και απομακρυσμένη παρακολούθηση
Digital Microwave	155Mbps	60km	Transfer trip (point-to-point)
Bluetooth	721Kbps	1-100m	Τοπικές εφαρμογές online παρακολούθησης

Πίνακας 6.1: Ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών για τα Έξυπνα Δίκτυα [63]

6.3.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες (Wireline/Wired Technologies)

Οι ενσύρματες τεχνολογίες, ενώ παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ασύρματες (π.χ. παροχή καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών, μεγαλύτερη ασφάλεια, όχι προβλήματα παρεμβολών, υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης, κ.ά.), εντούτοις παρουσιάζουν και αυτές μια πληθώρα άλλων μειονεκτημάτων (π.χ. εξάρτηση από τα υλικά μέσα μετάδοσης, δυσκολότερη συντήρηση του δικτύου, αρκετές επενδύσεις σε εργασίες που αφορούν το σκάψιμο και την τοποθέτηση καλωδίων, κ.ά.).

Στη συνέχεια, παραθέτονται κάποιες ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας που μπορεί να εφαρμοστούν από τα μελλοντικά Έξυπνα Δίκτυα:

- ♦ οι οπτικές ίνες,
- ♦ η τεχνολογία PLC (Power-line Communication), και
- ♦ η τεχνολογία DSL (Digital Subscriber Lines).

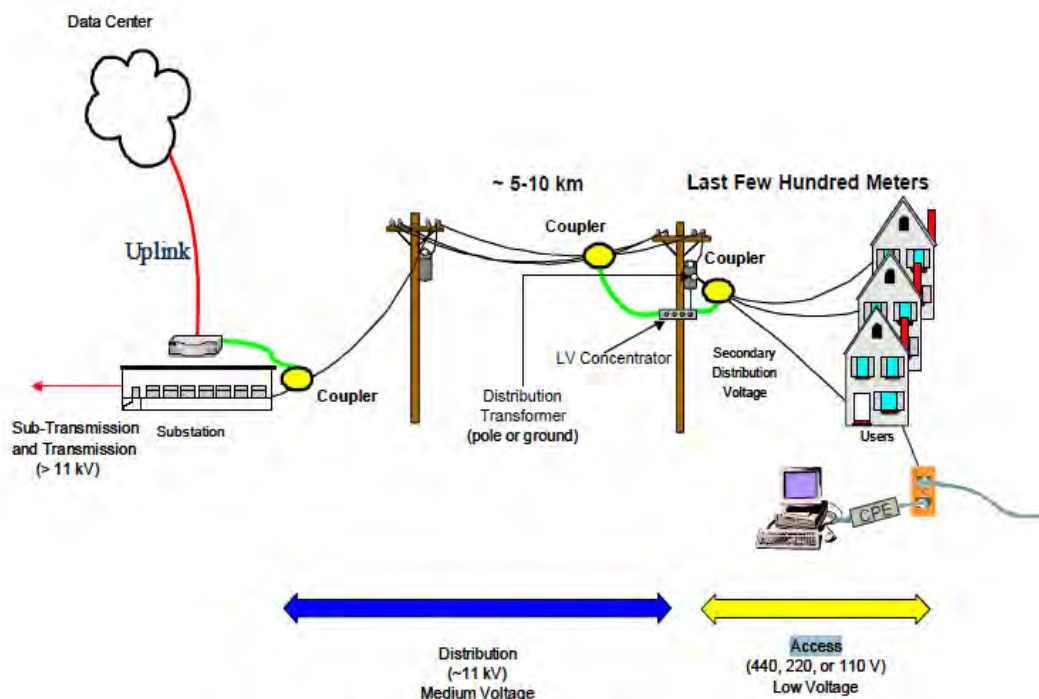
6.3.2.1 Οπτικές ίνες

Τα συστήματα επικοινωνιών οπτικών ινών, τα οποία εισήχθησαν για πρώτη φορά την δεκαετία του 1960, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Στο ηλεκτρικό σύστημα, ένα σύστημα επικοινωνίας οπτικών ινών αποτελεί μία από τις πιο ελκυστικές τεχνικά υποδομές επικοινωνίας, καθώς οι οπτικές ίνες διαθέτουν δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Το σημαντικότερο, όμως, μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασής τους και η υψηλή εξειδίκευση του προσωπικού συντήρησης και εγκατάστασης που απαιτείται συγκριτικά με τις υπόλοιπες λύσεις. Εντούτοις, χρησιμοποιούνται ήδη από πολλές εταιρείες ηλεκτρισμού για την τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση των μονάδων παραγωγής. Καθώς υπάρχουν ήδη έτοιμες εγκαταστάσεις οπτικών ινών με αχρησιμοποίητο μεγάλο ποσοστό του διαθέσιμου εύρους ζώνης τους, είναι πιθανή η χρήση τους για το backbone τμήμα του Έξυπνου Δικτύου. [62]

6.3.2.2 Power-Line Communication (PLC)

Η τεχνολογία PLC αφορά τη μετάδοση δεδομένων μέσω των καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η πληροφορία μεταδίδεται χρησιμοποιώντας ως μέσο μετάδοσης τις ίδιες τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η τεχνολογία PLC αξιοποιεί το ανεκμετάλλευτο εύρος ζώνης των καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος για μετάδοση δεδομένων, αφήνοντας ένα περιθώριο ασφάλειας από τις χαμηλές συχνότητες. Η τεχνολογία PLC είναι δυνατό να αξιοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου. Δεδομένου του εγκατεστημένου ηλεκτρικού δικτύου σε κάθε κατοικία, είναι πιθανή η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής για έλεγχο ηλεκτρικών συσκευών στην ευφυή κατοικία του μέλλοντος.



Εικόνα 6.6: Σύστημα PLC [67]

Μία άλλη εφαρμογή των επικοινωνιών PLC είναι η μετάδοση δεδομένων με υψηλό ρυθμό μετάδοσης μέσω των γραμμών ΗΕ (Broadband over Power-line, BPL) σε υψηλές σχετικά συχνότητες (1.6 - 80 MHz) επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης που υπερβαίνουν τα 200Mbps στο φυσικό στρώμα. Είναι, επομένως, κατάλληλη τεχνολογία για μετάδοση δεδομένων μεταξύ των διαφόρων κόμβων του ΕΔ, ιδιαίτερα στη ΜΤ.

Γενικά, το PLC μπορεί να θεωρηθεί μια υποσχόμενη τεχνολογία για τις εφαρμογές των Έξυπνων Δικτύων εξαιτίας του γεγονότος ότι η υπάρχουσα υποδομή μειώνει το κόστος εγκατάστασης μιας επικοινωνιακής υποδομής. Οι προσπάθειες προτυποποίησης στα PLC δίκτυα, η αποδοτικότητα ως προς το κόστος, η παρουσία τους παντού και η ευρέως διαθέσιμη υποδομή των PLC είναι οι λόγοι που το κάνουν δυνατό και δημοφιλές. Βέβαια, το στοιχείο

της ασφάλειας είναι κρίσιμο. Η εμπιστευτικότητα, ο έλεγχος ταυτότητας-αυθεντικότητας, η ακεραιότητα, η παρέμβαση του χρήστη είναι μερικά από τα κρίσιμα θέματα στις επικοινωνίες των Έξυπνων Δικτύων.

Η χρήση σε οικιακά δίκτυα (HAN) είναι η μεγαλύτερη εφαρμογή για την PLC τεχνολογία. Ακόμη, μπορεί να φανεί κατάλληλη σε αστικές περιοχές για εφαρμογές όπως έξυπνες μετρήσεις, παρακολούθηση και έλεγχος, μιας και η PLC υποδομή καλύπτει ήδη τις περιοχές που είναι στο εύρος της επικράτειας υπηρεσιών των εταιριών κοινής ωφελείας.

Παρόλα αυτά, το PLC αντιμετωπίζει προβλήματα εξασθένησης, θορύβου και παραμόρφωσης, που συναντώνται στις RF επικοινωνίες όταν υλοποιούνται μέσω των καλωδίων ηλεκτρικής ενέργειας. Μιας και οι ηλεκτρικές γραμμές δεν είχαν αρχικά σχεδιαστεί για μετάδοση δεδομένων, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένας αριθμός σημαντικών θεμάτων και προκλήσεων στο PLC, όπως:

- διαφορετική αντίσταση και κατάσταση καναλιού,
- μη-λευκός θόρυβος στη φύση,
- εξασθένηση εξαρτώμενη από τη συχνότητα που σχετίζεται με τη θέση των εξόδων, τις γεωγραφικά διαφορετικές δομές καλωδίωσης και τον αριθμό/τύπο των συνδεδεμένων ηλεκτρικών συσκευών, και
- αλλαγή φάσης (π.χ. από μονοφασική σε τριφασική) μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών αρχιτεκτονικών.

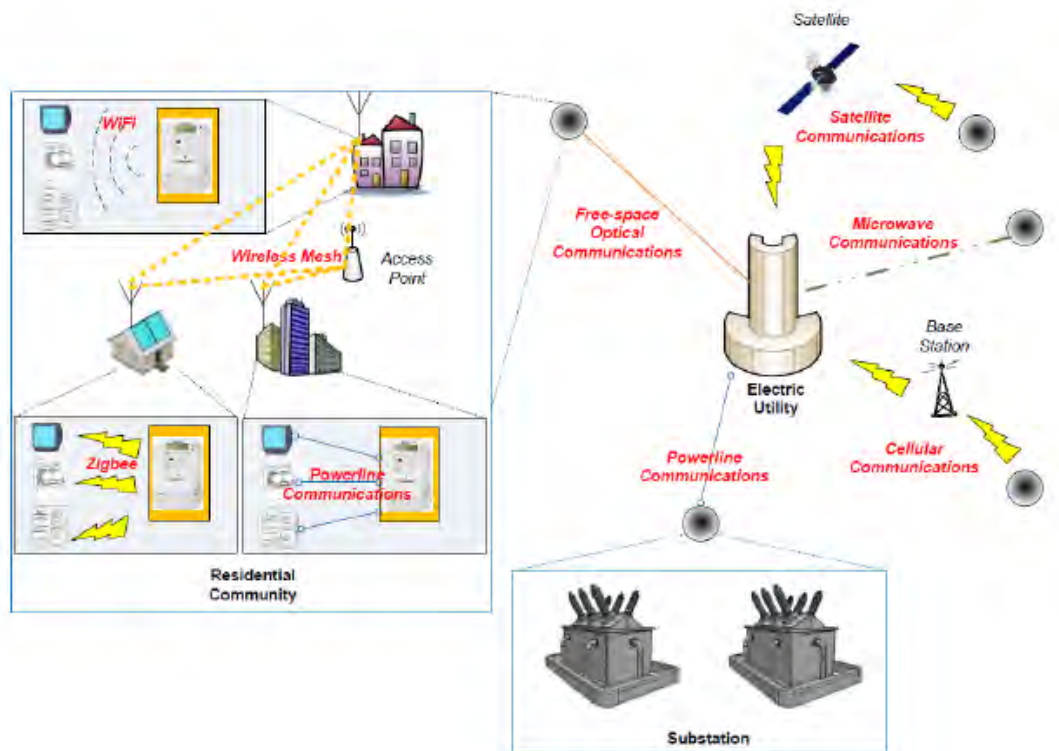
Γενικά, οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς ως μέσο μετάδοσης είναι αντίξοο και θορυβώδες περιβάλλον που κάνει δύσκολη τη μοντελοποίηση του καναλιού. Το χαρακτηριστικό του χαμηλού εύρους ζώνης (20Kbps για δίκτυα σε επίπεδο γειτονιάς-Neighborhood Area Networks) περιορίζει την PLC τεχνολογία ως προς τις εφαρμογές που χρειάζονται μεγαλύτερο εύρος. Επιπλέον, η τοπολογία του δικτύου, ο αριθμός και ο τύπος των συνδεδεμένων συσκευών στις ηλεκτρικές γραμμές, η απόσταση καλωδίωσης μεταξύ πομπού και δέκτη, όλα επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα του σήματος που μεταδίδεται πάνω από τις γραμμές. Η ευαισθησία του PLC στις διαταραχές και η εξάρτηση από την ποιότητα του σήματος είναι τα μειονεκτήματα που το καθιστούν ακατάλληλο για μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο, έχουν προταθεί υβριδικές λύσεις στις οποίες η PLC τεχνολογία συνδυάζεται με άλλες, δηλαδή GPRS ή GSM, για την παροχή πλήρους συνδεσιμότητας. [62][64][68]

6.3.2.3 Digital Subscriber Lines (DSL)

Πρόκειται για μια τεχνολογία υψηλής ταχύτητας μεταφοράς ψηφιακών δεδομένων που χρησιμοποιεί τα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου. Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των DSL γραμμών μειώνει το κόστος εγκατάστασης. Έτσι, πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν το DSL για τα έργα των Έξυπνων Δικτύων τους. Ωστόσο, η απόδοση (throughput) της DSL σύνδεσης εξαρτάται από το πόσο μακριά είναι ο συνδρομητής από το τηλεφωνικό κέντρο που τον εξυπηρετεί και κάτι τέτοιο δυσκολεύει τον χαρακτηρισμό της επίδοσης της DSL τεχνολογίας.

Η ευρεία διαθεσιμότητα, το χαμηλό κόστος και η υψηλού εύρους μετάδοση δεδομένων αποτελούν τους πιο σημαντικούς λόγους που θέτουν το DSL στις πρώτες θέσεις των υποψήφιων τεχνολογιών για τους παρόχους ηλεκτρισμού στην εφαρμογή της ιδέας των Έξυπνων Δικτύων.

Από την άλλη, η αξιοπιστία και ο πιθανός χρόνος μη-λειτουργίας της DSL τεχνολογίας πιθανόν να μην είναι αποδεκτοί για κρίσιμες εφαρμογές. Η εξάρτηση από την απόσταση και η έλλειψη προτυποποίησης μπορεί να προκαλέσουν επιπλέον προβλήματα. Τα επικοινωνιακά συστήματα που βασίζονται σε DSL απαιτούν την εγκατάσταση και τακτική συντήρηση καλωδίων και συνεπώς δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αγροτικές περιοχές εξαιτίας του κόστους εγκατάστασης καθορισμένης υποδομής για περιοχές χαμηλής πυκνότητας. [64]



Εικόνα 6.7: Τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου

6.4 Εξοπλισμός Έξυπνου Δικτύου

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι των Ευφύων Δικτύων, έχει ήδη αναπτυχθεί κάποια υποδομή αποτελούμενη από επιμέρους υποσυστήματα, το καθένα από τα οποία είναι προσανατολισμένο στην υλοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας. Έτσι, υπάρχουν συστήματα τα οποία υλοποιούν ή βελτιώνουν διάφορες λειτουργίες των ΕΔ, όπως η παραγωγή ΗΕ από διάφορες πηγές, η αξιόπιστη μετάδοσή της, η προστασία από διακοπές και σφάλματα, η φυσική επιτήρηση, η καταγραφή της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο και η αυτόματη διόρθωση βλαβών. Οι συσκευές οι οποίες υλοποιούν τις λειτουργίες αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής και αποσκοπούν στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σχετικών με την κατάσταση του δικτύου, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του, την επιτήρηση του δικτύου και την παρουσίαση πληροφοριών στις επιχειρήσεις ενέργειας και στους καταναλωτές. Οι κυριότερες από αυτές τις συσκευές είναι οι εξής:

- τα ηλεκτρονικά ισχύος,
- συσκευές προστασίας και διακόπτες,
- συσκευές αποθήκευσης ενέργειας,
- ευφυής θερμοστάτης,
- ευφυής αισθητήρας,
- συσκευές προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS),
- συστήματα έξυπνης μέτρησης (Smart metering),
- συστήματα έξυπνης παρακολούθησης (Smart monitoring).

Εκτός των παραπάνω συσκευών, στο Έξυπνο Δίκτυο χρησιμοποιούνται και άλλες συσκευές, όπως είναι [47]:

- ♦ ασύρματοι αποστολείς δεδομένων και ήχου (voice and data dispatch radios),
- ♦ συσκευές αυτόματου εντοπισμού οχήματος (Automatic Vehicle Location Devices, AVL),
- ♦ φορητοί υπολογιστές (laptop PCs),
- ♦ κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές τηλεπικοινωνίας με πρόσβαση στο internet, κ.ά.

Παρακάτω αναλύονται μόνο οι κυριότερες από αυτές [41][55][69][70][71][109][110].

6.4.1 Τα ηλεκτρονικά ισχύος

Τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος που εγκαθίστανται σε συστήματα μετάδοσης για τον έλεγχο της ροής ισχύος και της τάσης. Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη σταθερότητα του συστήματος και στην αύξηση της μεταφοράς ισχύος. Εκτός από τον όρο «ηλεκτρονικά ισχύος» είναι γνωστά και ως ευέλικτα συστήματα μετάδοσης (Flexible AC Transmission Systems, FACTS).

6.4.2 Συσκευές προστασίας και διακόπτες

Στα Έξυπνα Δίκτυα χρησιμοποιούνται διακόπτες προκειμένου να προστατεύεται ο εξοπλισμός σε περιπτώσεις που αυξηθεί το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Επίσης, γίνεται χρήση αυτοματοποιημένων συσκευών προστασίας προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια και η αξιοπιστία του συστήματος.

6.4.3 Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Energy Storage Systems, ESSs) μπορούν να αποδειχθούν ωφέλιμα για το Έξυπνο Δίκτυο, καθώς έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και ως φορτία και ως γεννήτριες. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με ηλεκτρονικά ισχύος παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες, για τη βελτίωση της ποιότητας ισχύος, της αξιοπιστίας του δικτύου και την αύξηση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα δίκτυα. Σε αυτήν την κατεύθυνση συμβάλλουν και οι υπηρεσίες V2G (Vehicle to Grid), όπου οι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων ενσωματώνονται στη λειτουργία του δικτύου.

6.4.4 Ευφυής θερμοστάτης

Τοποθετείται στην εγκατάσταση του καταναλωτή. Στα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται προηγμένοι αλγόριθμοι για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και τον ακριβή υπολογισμό της θερμοκρασίας, πολλαπλές επιλογές ελέγχου φορτίου στο πλαίσιο του μοντέλου ζήτησης προσφοράς, προφίλ ελέγχου των τιμών, χρονοδιαγράμματα, μεγάλη οθόνη γραφικών φιλική προς το χρήστη, συνδεσιμότητα με το Διαδίκτυο και μηνύματα γνωστοποίησης βλάβης.

6.4.5 Ευφυής αισθητήρας

Ενημερώνει την επιχείρηση κοινής ωφέλειας σχετικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο ηλεκτρικό δίκτυο. Στα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται ανίχνευση της βλάβης υπογραμμίζοντας τη θέση της διακοπής, εκτίμηση της απόστασης στην οποία έχει επεκταθεί το σφάλμα, παρακολούθηση της θερμοκρασίας, προειδοποίηση για πιθανά προβλήματα φορτίου, συνεχή μέτρηση του ρεύματος, καταγραφή της λειτουργίας της γραμμής μεταφοράς, αμφίδρομη επικοινωνία.

6.4.6 Συσκευές προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS)

Το GPS (Global Positioning System) θα βοηθήσει σημαντικά στη λειτουργία του Ευφυούς Δικτύου, καθώς θα είναι δυνατόν να εντοπιστεί μία βλάβη στο δίκτυο.

Πρόκειται για ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο βασίζεται σε ένα «πλέγμα» εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, στους οποίους υπάρχουν ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται «δέκτες GPS». Οι δέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησής του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές.

Πιο αναλυτικά, το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS) είναι ένα σύστημα ραδιο-πλοήγησης, το οποίο αποτελείται από ένα δίκτυο 24 δορυφόρων και από επίγειους σταθμούς κατανεμημένους σε όλο τον κόσμο. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος περίπου 20 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης και περιφέρονται γύρω από τη γη ακολουθώντας έξι διαφορετικές τροχιές. Κινούνται με ταχύτητα περίπου 2,6 χλμ. το δευτερόλεπτο, διαγράφοντας μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο, δύο πλήρεις κύκλους γύρω από τη γη. Οι δορυφόροι αυτοί αναφέρονται και σαν NAVSTAR δορυφόροι και ο πρώτος GPS δορυφόρος εκτοξεύτηκε το Φεβρουάριο του 1978. Κάθε δορυφόρος ζυγίζει περίπου 1 τόνο και το μήκος του, όταν τα πλαίσια με τα ηλιακά φωτοστοιχεία είναι ανοικτά, φθάνει περίπου στα 5 μέτρα. Η ισχύς μετάδοσης των σημάτων είναι το πολύ 50 Watt. Κάθε δορυφόρος

μεταδίδει σήματα σε τρεις συχνότητες από τις οποίες μόνο μία (αυτή στα 1575,42 MHz) χρησιμοποιείται για τους πολίτες, γνωστή και ως «L1». Οι άλλες δύο συχνότητες χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Η διάρκεια ζωής κάθε δορυφόρου υπολογίζεται σε 10 περίπου έτη. Κάθε τόσο κατασκευάζονται νέοι δορυφόροι για να αντικαταστήσουν τους παλιούς.



Εικόνα 6.8: Συσκευή προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS)

Το GPS χρησιμοποιεί τους 24 δορυφόρους και τους επίγειους σταθμούς ως σημεία αναφοράς για να υπολογίσει τη θέση που βρισκόμαστε με ακρίβεια λίγων μέτρων. Σήμερα, υπάρχουν εξελιγμένα GPS συστήματα, όπως το *Differential GPS*, το *Augmented GPS*, κ.ά., τα οποία μπορούν να φθάσουν σε ακρίβεια καλύτερη του ενός μέτρου! Έτσι, ουσιαστικά είναι σαν να δίνουμε σε κάθε τετραγωνικό μέτρο του πλανήτη μας μία μοναδική διεύθυνση.

Το μέγεθος των δεκτών GPS μειώνεται συνεχώς με τη χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και έτσι αυτοί γίνονται πιο οικονομικοί και προσιτοί στον καθένα μας.

6.4.7 Αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης (Automatic Meter Reading, AMR)

Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός καταναλωτών έχει οδηγήσει τις εταιρίες στην αναζήτηση ενός αποδοτικού τρόπου υπολογισμού της ενέργειας που καταναλώνεται από τους συνδρομητές. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης (Automatic Meter Reading, AMR) αναφέρεται στην ενέργεια που καταναλώνεται συνολικά και όχι μόνο στην ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί δηλαδή να ενσωματώνει και άλλους μετρητές, όπως του φυσικού αερίου και του νερού.

Επιπλέον, το AMR σύστημα παρέχει ένα σύνολο ολοκληρωμένων υπηρεσιών, εκτός από την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και του υπολογισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας. Μπορεί να απεικονίσει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (real-time), καθώς οι μετρήσεις λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, μπορεί ο πελάτης να ξέρει ακριβώς τι καταναλώνει και τι πληρώνει και επιπλέον μπορεί να δημιουργηθεί ένα ενεργειακό προφίλ του πελάτη (κτιρίου). Το προφίλ αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πιστοποιητικό που του δίνει αγοραστική δύναμη απέναντι σε μια απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Το προφίλ αυτό δείχνει τι καταναλώνει ο πελάτης και ποια χρονική στιγμή. Συνεπώς, αυτό βοηθάει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, τόσο με εντοπισμό «άχρηστων» φορτίων όσο και από αποφυγή ποινών λόγω υψηλών αιχμών στην κατανάλωση. Επιπλέον, μπορεί να προσφέρει ακόμα δυνατότητες χειρισμού φορτίου, ανίχνευσης σφαλμάτων στο δίκτυο και έγκαιρης ενημέρωσης του συστήματος, αλλά και αξιοπιστία στις μετρήσεις.

Γενικά, η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης είναι ένα σύστημα αυτοματισμού που συλλέγει δεδομένα (μετρήσεις-καταναλώσεις) και τα στέλνει σε μια κεντρική βάση δεδομένων όπου γίνεται η αποθήκευση και η επεξεργασία αυτών των στοιχείων. Η επικοινωνία γίνεται μέσω τηλεπικοινωνιακού διαύλου -ενσύρματου ή ασύρματου- ή μέσω της γραμμής μεταφοράς με φέροντα κύματα και πραγματοποιείται είτε με μονομερή αποστολή δεδομένων από το σύστημα στο διακομιστή σε τακτά χρονικά διαστήματα, είτε με αποστολή κατόπιν αίτησης του διακομιστή, είτε με συνδυασμό των δύο παραπάνω.

6.4.8 Συστήματα έξυπνης μέτρησης (Smart metering)

Πρόκειται για την υποδομή που είναι υπεύθυνη για την αυτόματη συλλογή δεδομένων σχετικών με την κατάσταση του δικτύου, την κατανάλωση και ενδεχόμενα προβλήματα. Η υποδομή αυτή ονομάζεται AMI (Automatic Metering Infrastructure) και αποτελεί μία από τις βασικότερες τεχνολογίες Ευφυούς Δικτύου, καθώς παρέχει αμφίδρομη επικοινωνία, καταγραφή του φορτίου σε πραγματικό χρόνο, αποστολή δεδομένων που αφορούν τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, κ.ά.

Τα συστήματα ευφών μετρήσεων στηρίζονται στην εγκατάσταση διατάξεων, που ονομάζονται έξυπνοι μετρητές (smart meters), στα διάφορα σημεία ενδιαφέροντος του δικτύου. Έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί για το τι είναι ένας έξυπνος μετρητής. Ένας από αυτούς, ο οποίος φαίνεται να επικρατεί είναι ο εξής: «Ένας έξυπνος μετρητής:

- A. μετρά την κατανάλωση σε αντιπροσωπευτικά χρονικά διαστήματα προς τις νόμιμες απαιτήσεις,
- B. αποθηκεύει τα δεδομένα των μετρήσεων για πολλαπλά χρονικά διαστήματα, και
- Γ. επιτρέπει πρόσβαση στα δεδομένα αυτά στους καταναλωτές αλλά και στους παρόχους.

Επιπλέον, διαθέτει μία τουλάχιστον από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- i. παρέχει ανάλυση των δεδομένων σε μια τοπική οθόνη με μορφή αντιληπτή από τον καταναλωτή,
- ii. μεταφέρει τα δεδομένα της κατανάλωσης στον προμηθευτή για ακριβή τιμολόγηση χωρίς να απαιτείται πρόσβαση στο σπίτι,
- iii. μετρά και καταγράφει πληροφορίες για τη συνοχή και την ποιότητα της παροχής και παρέχει αυτές τις πληροφορίες στο χειριστή του δικτύου διανομής για λόγους σχεδιασμού, λειτουργίας του συστήματος και καταγραφής απωλειών,
- iv. επιτρέπει απομακρυσμένο έλεγχο (διακοπή και αποκατάσταση) συγκεκριμένων κυκλωμάτων του καταναλωτή για λόγους συμφωνημένης διαχείρισης φορτίου,
- v. επιτρέπει προβολή των σημάτων τιμής για διαφορετικά χρονικά διαστήματα διατίμησης με βάση το κόστος για λόγους απόκρισης στη ζήτηση, και
- vi. επιτρέπει απομακρυσμένη αλλαγή της διατίμησης, του χρέους ή άλλων ποσών για χρέωση υπηρεσιών ωφελείας χωρίς να απαιτείται πρόσβαση στο σπίτι.»



Εικόνα 6.9: Επαγωγικός μετρητής

Μέχρι σήμερα το βασικό εργαλείο για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας σε κτίρια και βιομηχανίες είναι ο Ηλεκτρομηχανικός ή Επαγωγικός μετρητής (Εικόνα 6.9). Αυτός μετρά την ενεργό ή και άεργο κατανάλωση κάποιου κτιρίου και αναγράφει τα δεδομένα στην οθόνη του. Ένας υπάλληλος στη συνέχεια έχοντας ένα φορητό καταχωρητή, ο οποίος περιέχει όλες τις παροχές που πρέπει να ελέγξει ο υπάλληλος, πηγαίνει από σπίτι σε σπίτι και καταγράφει τις ενδείξεις που βλέπει στους μετρητές. Τέτοιες ενδείξεις είναι η διεύθυνση της κατοικίας, ο αριθμός της παροχής και του μετρητή, η προηγούμενη ένδειξη της κατανάλωσης, η νέα ένδειξη και η διαφορά τους σε kWh. Αυτή η διαδικασία γίνεται ανά 4 μήνες. Στη συνέχεια ο χειριστής συνδέει τον καταχωρητή στη Βάση Δεδομένων και μεταφέρει όλα τα δεδομένα σε κάποιον κεντρικό υπολογιστή. Με βάση αυτά τα δεδομένα εκδίδονται και όλοι οι εκκαθαριστικοί λογαριασμοί.



Εικόνα 6.10: Έξυπνος μετρητής της EVB Energie AG

Για τον καλύτερο, όμως, έλεγχο και παρακολούθηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των χρηστών ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη η αυτοματοποίηση των διαδικασιών μέτρησης και μεταφοράς των ενδείξεων των μετρητών ΗΕ. Γι' αυτόν τον σκοπό αναπτύχθηκαν οι έξυπνοι μετρητές (smart meters), οι οποίοι έχουν συγκεκριμένες τεχνικές δυνατότητες και μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τόσο των Διαχειριστών των δικτύων όσο και των καταναλωτών. Στην Εικόνα 6.10 παρουσιάζεται ένας έξυπνος μετρητής της EVB Energie AG, ο οποίος εκτός από προδιαγραφές AMR (Automatic Meter Reading), έχει δυνατότητες αμφίδρομης επικοινωνίας, απομακρυσμένης σύνδεσης/αποσύνδεσης και αλληλεπίδρασης με άλλους μετρητές φυσικού αερίου και νερού.

Ο όρος έξυπνος μετρητής, συνήθως, αναφέρεται σε ηλεκτρικούς μετρητές που διαχειρίζονται λεπτομερή στατιστικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση ΗΕ (μπορεί, όμως, να χρησιμοποιηθεί και σαν μετρητής φυσικού αερίου ή νερού).

Οι έξυπνοι μετρητές έχουν τη δυνατότητα μέτρησης της τάσης και του ρεύματος με απόλυτη ακρίβεια. Στη συνέχεια, επεξεργάζονται τις μετρήσεις και υπολογίζουν την καταναλισκόμενη μέση ισχύ, το συντελεστή ισχύος, τις αρμονικές τάσης και ρεύματος, αλλά και άλλα ενδιαφέροντα μεγέθη.

Διαθέτουν ψηφιακή οθόνη, η οποία είναι παρόμοια σε μέγεθος με αυτήν των παραδοσιακών μετρητών. Μπορεί οι Έξυπνοι Μετρητές να ποικίλλουν στο σχεδιασμό ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες στην αγορά, στα διαφορετικά κράτη μέλη, και τους διαφορετικούς τύπους μετρητών σε κάθε κτίριο, αλλά όλοι εξυπηρετούν τουλάχιστον την εξής βασική λειτουργία: να αποστέλλουν ενσύρματα ή ασύρματα την καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης στον πάροχο.



Εικόνα 6.11: Επικοινωνία του έξυπνου μετρητή με τον διαχειριστή του δικτύου

Οι έξυπνοι μετρητές δεν καταγράφουν μόνο στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας αλλά μπορούν επιπρόσθετα να καταγράφουν την παραγόμενη ενέργεια, την οποία μπορεί να παράγει κάποιος prosumer, π.χ. μέσω ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών.

Επιπλέον, ο όγκος της πληροφορίας την οποία αποστέλλουν οι έξυπνοι μετρητές δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλος, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις αποστέλλουν στο κεντρικό σύστημα μόνο πληροφορίες σχετικές με την κατανάλωση ενέργειας ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Έτσι, οι έξυπνοι μετρητές μπορούν να ελέγχουν τη λειτουργία οικιακών συσκευών και κατ' επέκταση είναι δυνατό να ελέγχουν την κατανάλωση ΗΕ ενός νοικοκυριού. Σε συνδυασμό με τη δυνατότητα απομακρυσμένου (remote) ελέγχου τους, το γεγονός αυτό τους καθιστά σημαντική υποδομή για τη λειτουργία της ευφυούς κατοικίας του μέλλοντος.

Εκτός των άλλων, η χρήση των έξυπνων μετρητών είναι αρκετά απλή. Οι μετρητές μεταφέρουν μηνύματα και πληροφορίες μέσω μιας LCD οθόνης φιλική προς το χρήστη. Όλοι οι καταναλωτές έχουν τη δική τους smart card, η οποία είναι αξιόπιστη και δεν μπορεί να αντιγραφεί. Όταν υπάρχει παράνομη χρήση ο μετρητής το αντιλαμβάνεται και το αποθηκεύει στη μνήμη του και δεν επιτρέπει χρήση ηλεκτρισμού, νερού ή γκαζιού. Μετά από κάτι τέτοιο η κάρτα μπορεί να καταστραφεί. Ο μετρητής προειδοποιεί τον καταναλωτή πριν η πίστωσή του τελειώσει. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιήσει «κρατημένα» credits. Όταν τελειώσουν και αυτά, ο μετρητής προειδοποιεί το χρήστη μέσω της LCD οθόνης να αγοράσει credit ή ότι τα credits του είναι χαμηλά. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι ο μετρητής λειτουργεί με μπαταρία, η οποία όταν εξαντλείται, σβήνει αλλά τα δεδομένα του δε χάνονται. Τα credits είναι αποθηκευμένα στη μνήμη του μετρητή οπότε δεν υπάρχει απώλεια πληροφορίας.

Με τη χρήση των συστημάτων έξυπνης μέτρησης γίνεται δυνατή η μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικών με την κατανάλωση ΗΕ (όπως είναι το ύψος του φορτίου τη δεδομένη στιγμή αλλά και την τιμή πώλησης της κιλοβατώρας) και, συνεπώς, με τη ζήτηση ΗΕ. Αυτό συνιστά σημαντική διαφοροποίηση ως προς τα παραδοσιακά δίκτυα ΗΕ, στα οποία η εκτίμηση της ζήτησης βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης που ανανεώνονται με αργούς ρυθμούς (συνήθως σε ετήσια βάση).

6.4.9 Συστήματα έξυπνης παρακολούθησης (Smart monitoring)

Πρόκειται για γενική παρακολούθηση όλου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρακολούθηση γίνεται σε πραγματικό χρόνο και αφορά τις λειτουργίες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής, καθώς και τις διασυνδέσεις μεταξύ διάφορων περιοχών. Έτσι, μειώνονται οι πιθανότητες εμφάνισης σφαλμάτων στο δίκτυο και παρέχεται εποπτεία σε ειδικού τύπου τεχνολογίες παραγωγής, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται αποτελούν τη βάση για τις στρατηγικές λήψης αποφάσεων.

Πιο συγκεκριμένα, η παρακολούθηση και η επιτήρηση του δικτύου αποσκοπεί στον άμεσο εντοπισμό προβλημάτων έτσι ώστε να πραγματοποιείται και η πρόληψη ή η άμεση αποκατάστασή τους. Με την επιτήρηση του Ευφυούς Δικτύου είναι εφικτός ο προσδιορισμός της θέσης των μηχανικών βλαβών. Έτσι, τα συστήματα παρακολούθησης συμβάλλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας του ΗΔ και της ποιότητας της παρεχόμενης ΗΕ. Η λειτουργία της ευφυούς παρακολούθησης επιτυγχάνεται με χρήση αισθητήρων που εγκαθίστανται σε διάφορα σημεία του δικτύου. Οι αισθητήρες αυτοί συλλέγουν δεδομένα (τα οποία μπορούν να προέρχονται από μετρήσεις, από κοντινές κάμερες, από μονάδες μέτρησης φάσης, κ.λπ.). Το πλεονέκτημα των αισθητήρων είναι το χαμηλό κόστος που απαιτείται για την εγκατάστασή τους, καθιστώντας μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για την παρακολούθηση του ΗΔ.

Με την εγκατάσταση τέτοιων αισθητήρων δημιουργείται ένα σύστημα κατανεμημένων κόμβων σε όλη την έκταση του δικτύου. Σημειώνεται ότι, εκτός της συλλογής και της επεξεργασίας των δεδομένων, κάθε αισθητήρας είναι επιφορτισμένος και με τη μετάδοση των δεδομένων του στον επόμενο κόμβο, έτσι ώστε διαδοχικά τα χρήσιμα δεδομένα να φθάσουν στο κέντρο ελέγχου. Επίσης, είναι υπεύθυνος και για τη λήψη και την αναμετάδοση προς τον επόμενο κόμβο στην κατεύθυνση του παραλήπτη των δεδομένων που λαμβάνει από τον προηγούμενο αισθητήρα.

Τα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω του δικτύου αισθητήρων στο ΕΔ ποικίλλουν. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα δεδομένα αυτά μπορεί να αφορούν ανίχνευση σφαλμάτων στο δίκτυο ή παρακολούθηση της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχει το ΕΔ. Σε άλλες περιπτώσεις, το δίκτυο αισθητήρων μπορεί να μεταφέρει δεδομένα καταγραφής από μια κάμερα, που ενεργοποιείται όταν παρατηρηθεί κλοπή ρεύματος ή υλικού (καλωδίων, μετασχηματιστών, κ.λπ.) από το δίκτυο. Σημαντική είναι, επίσης, η μετάδοση δεδομένων σχετικών με την κατάσταση των γραμμών μεταφοράς, όπως η θερμοκρασία τους ή η ποσότητα της ΗΕ που μεταφέρεται μέσω αυτών. Πάντως, λόγω του πρώιμου σταδίου στο οποίο βρίσκεται το ΕΔ, δεν είναι δυνατόν να υπάρχει, προς το παρόν, ακριβής αποτύπωση των δεδομένων τα οποία θα μεταδίδονται μέσω αυτού.

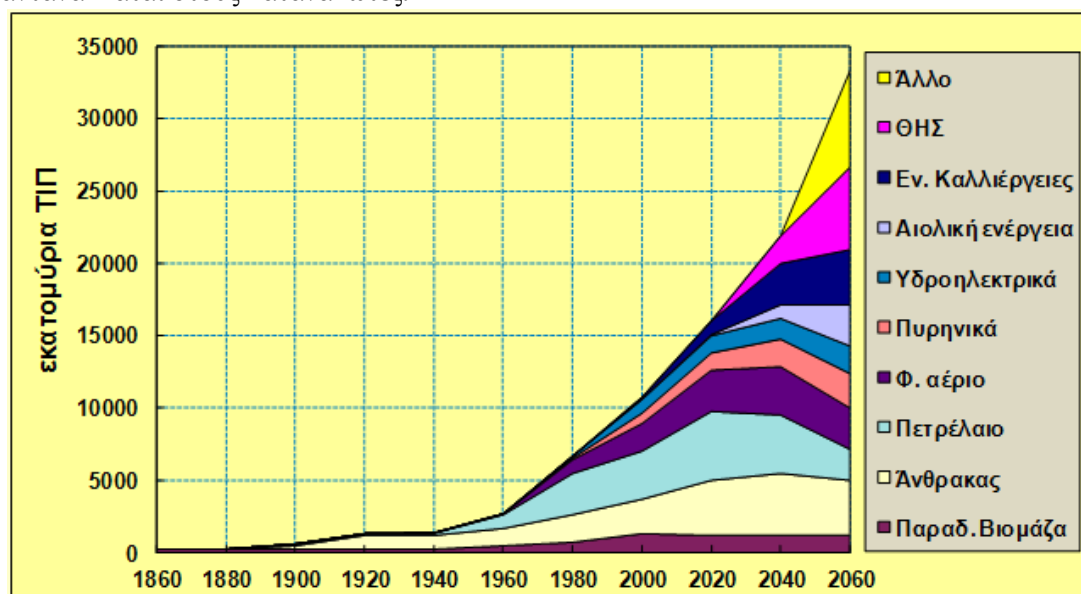
Κεφάλαιο 7

Έξυπνα Δίκτυα και Διαχείριση Ενέργειας

7.1 Το ενεργειακό πρόβλημα σήμερα

Η αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα απαιτεί τέλεια αναλογία μεταξύ παροχής και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό, με απλά λόγια, σημαίνει ότι η λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος βασίζεται στην παροχή της απαιτούμενης ισχύος την ίδια χρονική στιγμή που αυτή ζητηθεί. Αυτή η αναλογία, όμως, δεν επιτυγχάνεται πάντα, καθώς και η παροχή αλλά και η ζήτηση ενέργειας μπορούν να αλλάξουν ραγδαία και απρόσμενα.

Στον τομέα της ηλεκτρικής βιομηχανίας η εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας συνιστά ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα. Οι καταναλωτές καταναλώνουν αλόγιστα ηλεκτρική ενέργεια, καθώς δεν τους δίνονται δελεαστικά κίνητρα προκειμένου να βελτιώσουν τις ενεργειακές τους συνήθειες. Τα τελευταία χρόνια, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 7.1 που ακολουθεί, παρατηρείται μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ισχύος και φορτίου αιχμής που σε διάφορες περιπτώσεις φτάνει και το ανώτατο όριο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Η σημερινή εικόνα της ημερήσιας καμπύλης ζήτησης δυσχεραίνει την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, με το αρνητικό αυτό αποτέλεσμα να αντανακλάται στους καταναλωτές.



Διάγραμμα 7.1: Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας τα τελευταία χρόνια [74]

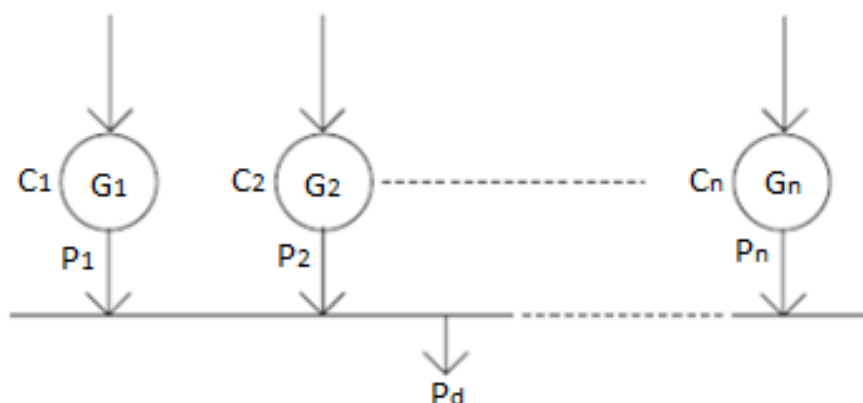
Το ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς την ικανότητα να διαπιστώνει αλλά και να προβλέπει εκ των προτέρων τη ζήτηση κάθε χρονική στιγμή, συχνά αδυνατεί να προσφέρει την

απαιτούμενη ενέργεια. Έτσι, προκαλείται η κορύφωση του φορτίου που με τη σειρά της συχνά οδηγεί στη διακοπή της παροχής, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος και τη διαταραχή της ευστάθειάς του. Αυτό παρατηρείται, κυρίως, κατά τη διάρκεια περιστατικών αιχμής της ζήτησης και περιπτώσεων έκτακτης ανάγκης. Συνηθισμένη περίπτωση αποτελούν οι θερινές ημέρες που εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες. Τότε, πλήθος από οικιακά και εμπορικά κλιματιστικά λειτουργούν αδιάκοπα και στο ανώτατο όριο με συνέπεια η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια να φτάνει γρήγορα στην αιχμή της. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας να επιβαρύνεται σημαντικά, καθώς θα πρέπει να θέσει σε λειτουργία τις ακριβές μονάδες αιχμής προκειμένου να καλύψει την αυξημένη ζήτηση που παρατηρείται κάθε φορά.

Για να ικανοποιηθεί η ηλεκτρική ζήτηση σε μία περιοχή, αν μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αδυνατεί να καλύψει αυτήν τη ζήτηση από μόνη της, θα πρέπει να συνεργαστούν δύο ή περισσότερες μονάδες παραγωγής προκειμένου να ικανοποιήσουν την ζήτηση που απαιτείται. Επομένως, σ' αυτήν την περίπτωση, τίθεται το ερώτημα τι μέρος της συνολικής ζήτησης θα πρέπει να καλύψει κάθε μονάδα. Το πρόβλημα αυτό έχει προφανώς πολλές λύσεις: αρκεί το άθροισμα των ισχύων εξόδου των μονάδων να ισούται με το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί. Αν, όμως, θέσουμε ως κριτήριο την όσο το δυνατόν πιο οικονομική λειτουργία του συστήματος, το πρόβλημα αποκτά μια βέλτιστη λύση. Ο προσδιορισμός αυτής της βέλτιστης λύσης είναι ο στόχος της οικονομικής κατανομής φορτίου (Economic Dispatch).

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η οικονομική κατανομή φορτίου της παραγωγής είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα βελτιστοποίησης, τόσο για τις επιχειρήσεις παραγωγής που ανταγωνίζονται σε μια ελεύθερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όσο και του διαχειριστή του συστήματος (System Operator, SO), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη δίκαιη αντιμετώπιση των συναλλαγών μεταξύ των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας και των πελατών τους [111]. Η «Οικονομική Κατανομή Φορτίου» ή αλλιώς «Economic Dispatch» ορίζεται σύμφωνα με την Παράγραφο 1234 της Ενεργειακής Πολιτικής Πράξης των ΗΠΑ (2005) ως «η λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής για την παραγωγή ενέργειας στο χαμηλότερο δυνατό κόστος για να εξυπηρετήσει αξιόπιστα τους καταναλωτές, αναγνωρίζοντας τυχόν λειτουργικούς περιορισμούς που αφορούν την παραγωγή και τη μεταφορά» [112].

Το πρόβλημα της οικονομικής κατανομής φορτίου μπορεί να λυθεί εύκολα [113], αν αγνοηθούν οι απώλειες στις γραμμές μεταφοράς. Σ' αυτήν την περίπτωση, το μοντέλο του συστήματος μπορεί να αναπαρασταθεί όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 7.1, όπου n μονάδες παραγωγής συνδέονται σε μια κοινή γραμμή τροφοδοσίας και όλες μαζί χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας P_d .



Εικόνα 7.1: Σύστημα με n σταθμούς παραγωγής

Για κάθε μονάδα παραγωγής, θεωρείται μία συνάρτηση κόστους C_i και το άθροισμα από όλα τα κόστη, που υπολογίζεται από αυτές τις συναρτήσεις κόστους, δίνει το συνολικό κόστος της παραγωγής C_t . Δηλαδή:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, n$$

όπου η συνάρτηση κόστους για την i -οστή μονάδα παραγωγής δίνεται από την εξίσωση:

$$C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

Έτσι, τώρα το πρόβλημα του Economic Dispatch από πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να διατυπωθεί ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης, καθώς ο στόχος του είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της παροχής του φορτίου ζήτησης C_d , ικανοποιώντας τους ακόλουθους περιορισμούς:

- i) Περιορισμός Ισότητας: Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις μονάδες παραγωγής πρέπει να ισούται με τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_d$$

όπου το P_i είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη μονάδα παραγωγής i και το P_d είναι η συνολική ζήτηση ισχύος.

- ii) Περιορισμός Ανισότητας: Η κάθε μονάδα παραγωγής θα πρέπει να παράγει ενέργεια μέσα στα ακόλουθα όρια:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, n$$

όπου το P_i^{\min} και το P_i^{\max} είναι η έξοδος της ελάχιστης και της μέγιστης λειτουργίας της μονάδας παραγωγής i (σε MW) αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η λύση του προβλήματος της οικονομικής κατανομής φορτίου είτε αγνοώντας είτε συμπεριλαμβάνοντας τους παραπάνω δύο περιορισμούς (έχοντας αγνοήσει τις απώλειες):

- Λύση του προβλήματος του Economic Dispatch αγνοώντας τους περιορισμούς: Η ορισμένη συνάρτηση συνολικού κόστους $C_t = \sum_{i=1}^n C_i$ για $i = 1, 2, \dots, n$, μπορεί να μετατραπεί σε μία μη ορισμένη συνάρτηση χρησιμοποιώντας τον πολλαπλασιαστή Lagrange, δηλαδή:

$$\mathcal{L} = C_t + \lambda (P_d - \sum_{i=1}^n P_i)$$

Οι συνθήκες για την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης μπορούν να βρεθούν από τις μερικές διαφορικές εξισώσεις της μη ορισμένης συνάρτησης στο μηδέν:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial C_t}{\partial P_i} + \lambda (0 - 1) = 0$$

Από την παραπάνω εξίσωση θα έχουμε:

$$\lambda = -\frac{\partial C_t}{\partial P_i}$$

Όμως $C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n$, άρα:

$$\frac{\partial C_t}{\partial P_i} = \frac{\partial C_i}{\partial P_i} = \lambda$$

Επομένως, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να γράψουμε:

$$\frac{\partial C_1}{\partial P_1} = \frac{\partial C_2}{\partial P_2} = \frac{\partial C_3}{\partial P_3} = \dots = \frac{\partial C_n}{\partial P_n} = \lambda$$

Χρησιμοποιώντας τώρα τη συνάρτηση κόστους για τη μονάδα παραγωγής i ($C_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$) μπορούμε να βρούμε το οριακό κόστος καυσίμου για την μονάδα i , ως εξής:

$$\frac{dC_i}{dP_i} = 2\gamma_i P_i + \beta_i = \lambda$$

Η δεύτερη συνθήκη μπορεί να βρεθεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_d = 0 \quad (5.1)$$

Επομένως, για μία γνωστή τιμή του λ , η ισχύς που παράγεται στη μονάδα παραγωγής i σύμφωνα με την Εξ. (5.1) μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$P_i = \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} \quad (5.2)$$

Η Εξ. (5.2) είναι έγκυρη, εφόσον ικανοποιεί τον περιορισμό της ισότητας και μπορεί να γραφτεί ως:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\lambda - \beta_i}{2\gamma_i} = P_d \Rightarrow \lambda \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\gamma_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{2\gamma_i} = P_d \quad (5.3)$$

Από την Εξ. (5.3) η τιμή του λ θα είναι:

$$\lambda = \frac{P_d + \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{2\gamma_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (5.4)$$

Έχοντας υπολογίσει την τιμή του λ από την Εξ. (5.4), μπορούμε να την αντικαταστήσουμε στην Εξ. (5.3) για να υπολογίσουμε τελικά τις τιμές του P_i για $i=1, 2, \dots, n$ έχοντας πετύχει έτσι το βέλτιστο προγραμματισμό της παραγωγής.

Ένας αλγόριθμος για τη λύση του προβλήματος της οικονομικής κατανομής φορτίου χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τους περιορισμούς είναι ο ακόλουθος:

Step 1: Διάβασε τα δεδομένα: τους συντελεστές κόστους α_i , β_i , γ_i και τη συνολική ζήτηση ισχύος P_d .

Step 2: Υπολόγισε την τιμή του λ χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.4)

Step 3: Βρες τη λύση του προβλήματος του economic dispatch χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.3) για όλες τις μονάδες παραγωγής.

- Λύση του προβλήματος του Economic Dispatch λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς:
Για την ικανοποιητική λειτουργία της μονάδας παραγωγής, η ενέργεια που παράγεται από αυτήν, δεν πρέπει να υπερβαίνει το P_{max} ή να είναι λιγότερη από το P_{min} . Αυτός ο περιορισμός πρέπει να ικανοποιηθεί εξαιτίας των θερμικών ορίων που επιβάλλονται στη μονάδα παραγωγής. Έτσι, τώρα το πρόβλημα της οικονομικής κατανομής φορτίου είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής που υπόκειται στον περιορισμό της ισότητας ($\sum_{i=1}^n P_i = P_d$) και στον περιορισμό της ανισότητας ($P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max}$ για $i=1,2,\dots,n$).

Οι απαραίτητες συνθήκες που ελαχιστοποιούν τους περιορισμούς της ανισότητας είναι οι ακόλουθες:

- Εάν οι παραγωγές είναι εντός των ορίων: $\frac{dC_i}{dP_i} = \lambda$ για $P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max}$
- Εάν οι παραγωγές φτάσουν στις οριακές τιμές: $\frac{dC_i}{dP_i} \leq \lambda$ για $P_i = P_i^{max}$ και για $i=1,2,\dots,n$
- Εάν οι παραγωγές είναι μικρότερες από τις ελάχιστες τιμές: $\frac{dC_i}{dP_i} \geq \lambda$ για $P_i = P_i^{min}$

Στη συνέχεια εκτιμούμε την τιμή του λ από την Εξ. (5.4) και υπολογίζουμε τις αντίστοιχες τιμές P_i χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.2). Έπειτα, ο περιορισμός της ισότητας επαληθεύεται εφόσον ικανοποιείται ο περιορισμός της ανισότητας, π.χ. τα όρια της παραγωγής. Εάν ικανοποιείται, η τιμή του λ λαμβάνεται για να καθορίσει τη βέλτιστη παραγωγή ισχύος. Διαφορετικά, η τιμή του λ πρέπει να μετατραπεί σύμφωνα με την μέθοδο gradient που περιγράφεται παρακάτω.

Αρχικά, ξαναγράφουμε την Εξ. (5.4) ως:

$$f(\lambda) = P_d \quad (5.5)$$

Επεκτείνουμε την αριστερή πλευρά της Εξ. (5.5) χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της σειράς Taylor και αγνοώντας τους όρους ανώτερης τάξης. Χρησιμοποιώντας την επαναληπτική τιμή r του λ , θα έχουμε:

$$f(\lambda)^{(r)} + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(r)} \Delta\lambda^{(r)} = P_d \quad (5.6)$$

Αν αντικαταστήσουμε με $\Delta P^{(r)} = P_d - f(\lambda)^{(r)}$, η Εξ. (5.6) μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\Delta\lambda^{(r)} = \frac{\Delta P^{(r)}}{\left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(r)}} = \frac{\Delta P^{(r)}}{\sum \frac{dP_i}{d\lambda}^{(r)}}$$

Από την Εξ. (5.2) θα έχουμε:

$$\frac{dP_i}{d\lambda} = \frac{1}{2\gamma_i}$$

Επομένως:

$$\Delta\lambda^{(r)} = \frac{\Delta P^{(r)}}{\sum \frac{1}{2\gamma_i}} \quad (5.7)$$

Έτσι, η τροποποιημένη τιμή του λ για την επανάληψη $(r+1)$ θα είναι:

$$\lambda^{(r+1)} = \lambda^{(r)} + \Delta\lambda^{(r)} \quad (5.8)$$

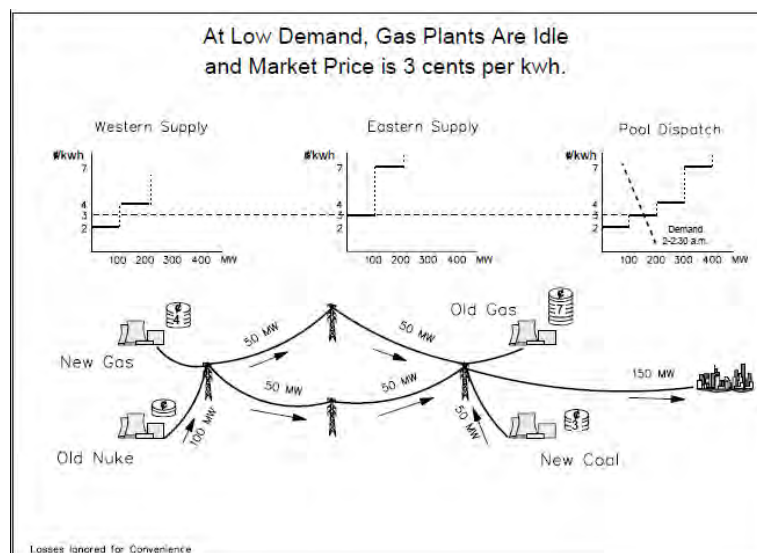
όπου $\Delta P^{(r)} = P_d - f(\lambda)^{(r)} = P_d - \sum_{i=1}^n P_i^{(r)}$.

Δεδομένου ότι η τιμή του λ έχει τροποποιηθεί, το $\sum P_i$ πλησιάζει την P_d . Εάν οποιαδήποτε P_i υπερβαίνει τις μέγιστες τιμές ή είναι μικρότερο από τις ελάχιστες τιμές, τότε το P_i ορίζεται στο εν λόγω αντίστοιχο όριο και στη συνέχεια διατηρείται σταθερό. Αφού διατηρηθεί σταθερό το P_i , για τη βέλτιστη κατανομή του φορτίου, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη μόνο οι άλλες μονάδες που δεν έχουν παραβιάσει τα όρια. Με άλλα

λόγια, όλες οι μονάδες εκτός από την i θα πρέπει να λειτουργούν με ίσα οριακά κόστη. Αυτήν η διαδικασία ακολουθείται μέχρι το $\sum P_i$ να ισούται με την P_d .

Ένας αλγόριθμος για τη λύση του προβλήματος της οικονομικής κατανομής φορτίου λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς είναι ο ακόλουθος:

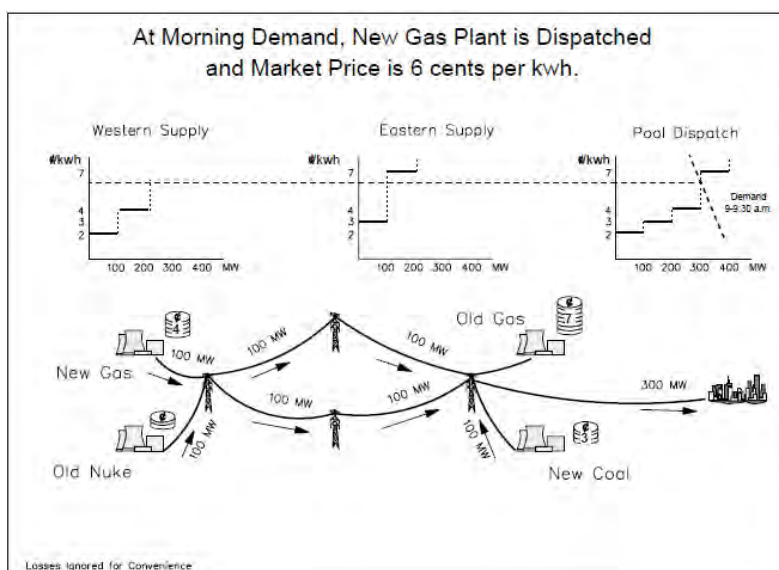
- Step 1: Διάβασε τα δεδομένα: τους συντελεστές κόστους για όλες τις n μονάδες παραγωγής $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ για $i=1,2,\dots,n$, τη συνολική ζήτηση ισχύος P_d και την τιμή ανοχής ε
Επιπλέον διάβασε: το $P_i^{(min)}$ και το $P_i^{(max)}$ για $i=1,2,\dots,n$
- Step 2: Υπολόγισε το λ χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.4) ή θεώρησε μία κατάλληλη τιμή του λ
- Step 3: Διέθεσε την P_d με βέλτιστο τρόπο και υπολόγισε τις τιμές του P_i (για $i=1,2,\dots,n$) χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.2)
- Step 4: Πραγματοποίησε έλεγχο της συνθήκης:
Κάθε P_i για $P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max}$ ($i=1,2,\dots,n$)
Εάν ικανοποιείται Προχώρα στο Step 5
Αλλιώς Προχώρα στο Step 6
- Step 5: Πραγματοποίησε έλεγχο της συνθήκης: $\sum_{i=1}^n P_i - P_d = 0$
Εάν ικανοποιείται GOTO Step 13
Αλλιώς κάνε έλεγχο εάν $\sum_{i=1}^n P_i - P_d < \varepsilon$ ή $\sum_{i=1}^n P_i - P_d > \varepsilon$
(Αυτό μπορεί να αυξηθεί εάν η τιμή του λ αρχικά θεωρηθεί αντί να υπολογιστεί από την Εξ. (5.4))
Βρες το $\Delta\lambda^{(1)}$ χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.7)
Υπολόγισε το $\lambda^{(2)} = \lambda^{(1)} + \Delta\lambda^{(1)}$
Επέστρεψε στο Step 3
- Step 6: Θέσε πλήθος επανάληψης, $r=1$
- Step 7: Για $i=1,2,\dots,n$
Επανάλαβε
Εάν $P_i \leq P_i^{(min)}$ τότε θέσε $P_i = P_i^{(min)}$
Εάν $P_i \geq P_i^{(max)}$ τότε θέσε $P_i = P_i^{(max)}$
- Step 8: Υπολόγισε το $\Delta P = P_d - \sum_{i=1}^n P_i$
- Step 9: Υπολόγισε το $\Delta\lambda^{(r)}$ χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.7)
- Step 10: Υπολόγισε το $\lambda^{(r+1)}$ χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.8)
- Step 11: Διέθεσε την P_d με βέλτιστο τρόπο μεταξύ όλων των μονάδων εκτός της i μονάδας
Υπολόγισε τις τιμές του P_k ($k=1,2,\dots,n$) (το k δεν ισούται με το i) χρησιμοποιώντας την Εξ. (5.3)
Όλες οι μονάδες παραγωγής πρέπει να λειτουργούν με ίσα οριακά κόστη
- Step 12: Κάνε έλεγχο των ορίων των μονάδων παραγωγής:
Εάν δεν υπάρχουν άλλες παραβιάσεις τότε Επέστρεψε στο Step 5
Αλλιώς αύξησε το πλήθος των επαναλήψεων $r+1$ και Επέστρεψε στο Step 7
- Step 13: Υπολόγισε το βέλτιστο συνολικό κόστος χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ και $C_t = \sum_{i=1}^n C_i$ για $i = 1, 2, \dots, n$
END



Εικόνα 7.2: Ένα απλό μοντέλο αγοράς όταν η ζήτηση είναι χαμηλή [114]

Τέλος, για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος του Economic Dispatch δίνεται ως παράδειγμα το απλό μοντέλο αγοράς [114] της Εικόνας 7.2. Στην αγορά αυτή υπάρχει μια πόλη στα ανατολικά, η οποία τροφοδοτείται από μονάδες παραγωγής που βρίσκονται στα δυτικά μέσω γραμμών μεταφοράς, και από τοπικούς σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται στα ανατολικά, δηλαδή στην ίδια περιοχή όπου βρίσκεται η πόλη. Στα δυτικά υπάρχει ένα παλιό πυρηνικό εργοστάσιο (Old Nuke), το οποίο μπορεί να παράγει ενέργεια με οριακό κόστος 2¢/kWh και ένα καινούργιο εργοστάσιο φυσικού αερίου (New Gas), το οποίο έχει κόστος λειτουργίας 4¢/kWh. Αυτές οι δύο μονάδες παραγωγής διαθέτουν δυναμικότητα 100 MW και συνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς το οποίο μεταφέρει την ενέργειά τους στην πόλη. Στα ανατολικά, οι ανταγωνιστικοί προμηθευτές είναι ένα καινούργιο εργοστάσιο άνθρακα (New Coal) με κόστος λειτουργίας 3¢/kWh και ένα παλιό εργοστάσιο φυσικού αερίου (Old Gas) με οριακό κόστος 7¢/kWh. Και πάλι αυτές οι μονάδες παραγωγής που βρίσκονται στα ανατολικά υποτίθεται ότι διαθέτουν δυναμικότητα 100 MW. Τα δύο εργοστάσια στα δυτικά καθορίζουν την καμπύλη «Western Supply», και τα δύο εργοστάσια στα ανατολικά ορίζουν την αντίστοιχη καμπύλη «Eastern Supply». Στο παράδειγμά μας, για λόγους απλότητας, αγνοούμε απώλειες κατά τη μεταφορά.

Όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.2, για τις πρώτες πρωινές ώρες, οι καμπύλες της προσφοράς από τις δύο περιοχές καθορίζουν την καμπύλη της συνολικής προσφοράς στην αγορά, η οποία τοποθετεί με μία σειρά τα διάφορα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αρχίζοντας από το φθηνότερο και καταλήγοντας στο ακριβότερο. Κάθε φορά, προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση που υπάρχει, επιλέγεται ο βέλτιστος συνδυασμός των εργοστασίων που θα λειτουργήσουν. Στην Εικόνα 7.2, παρατηρούμε πως απαιτούνται να παραχθούν 150 MW για να καλύψουν τη ζήτηση της πόλης που βρίσκεται στα ανατολικά. Η πιο βέλτιστη οικονομική λύση είναι το εργοστάσιο Old Nuke να παράγει 100 MW, και το εργοστάσιο New Coal να παράγει άλλα 50 MW. Το νέο εργοστάσιο άνθρακα New Coal είναι η οριακή μονάδα παραγωγής σ' αυτήν την περίπτωση, και επομένως καθορίζει την τιμή αγοράς στα 3¢/kWh για αυτήν την ώρα. Κατ' επέκταση, οι καταναλωτές στην πόλη θα πληρώνουν 3¢/kWh και για τα 150 MW. Το νέο εργοστάσιο άνθρακα New Coal λαμβάνει για την παραγωγή του 3¢/kWh και η τιμή αυτή καλύπτει μόνο το κόστος λειτουργίας του. Το παλιό πυρηνικό εργοστάσιο Old Nuke λαμβάνει και αυτό 3¢/kWh και για τα 100 MW που παράγει. Μετά την αφαίρεση των 2¢/kWh για το κόστος λειτουργίας του, υπάρχει κέρδος 1¢/kWh για τους ιδιοκτήτες της Old Nuke. Σε αυτήν την περίπτωση που η ζήτηση είναι χαμηλή, και έχοντας αγνοήσει τις απώλειες, δεν υπάρχει πρόσθετο κόστος που να αφορά τη μετάδοση. Τα 100 MW ρέουν πάνω από τις παράλληλες διαδρομές του δικτύου μεταφοράς. Αλλά καθώς δεν υπάρχει κανένας περιορισμός σχετικά με τη μετάδοση, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει και κόστος. Κατά συνέπεια, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ίδια και στα ανατολικά και στα δυτικά.



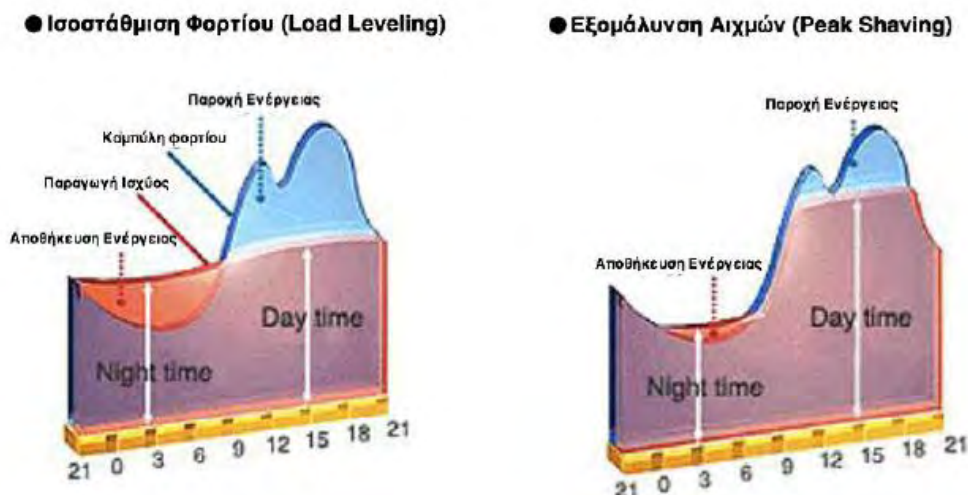
Εικόνα 7.3: Ένα απλό μοντέλο αγοράς όταν η ζήτηση είναι υψηλή [114]

Εάν τώρα η ζήτηση αυξηθεί, π.χ. κατά την έναρξη μιας εργάσιμης ημέρας, ο διαχειριστής του συστήματος πρέπει να κινηθεί πιο υψηλά στην καμπύλη κατανομής του φορτίου. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζονται οι ίδιες συνθήκες προσφοράς, αλλά μια υψηλότερη ζήτηση. Προκειμένου να καλυφθεί η συγκεκριμένη ζήτηση των 300MW θα πρέπει να τεθούν σε λειτουργία και πιο ακριβές μονάδες παραγωγής για να καλυφθεί το φορτίο. Έτσι, εκτός από το εργοστάσιο Old Nuke που συνεχίζει να λειτουργεί στην πλήρη δυναμικότητά του (100MW) και το εργοστάσιο New Coal που λειτουργεί τώρα και αυτό στην πλήρη δυναμικότητά του (100MW), προστίθεται και το νέο εργοστάσιο φυσικού αερίου New Gas στα δυτικά το οποίο λειτουργεί και αυτό σε πλήρη δυναμικότητα (100MW), προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση των 300MW. Το εργοστάσιο New Gas στα δυτικά, σ' αυτήν την περίπτωση, έχει την πιο ακριβή λειτουργία, με οριακό κόστος 4¢/kWh. Ωστόσο, αυτό το λειτουργικό κόστος δεν μπορεί να καθορίσει την τιμή της αγοράς, διότι σε αυτήν την τιμή ζήτησης θα πρέπει να υπερβαίνει η διαθέσιμη προσφορά, και ο διαχειριστής του συστήματος πρέπει να προστατεύσει το σύστημα διατηρώντας ισορροπία στην προσφορά και στη ζήτηση. Επομένως, το αποτέλεσμα είναι να στραφεί σε εκείνους τους πελάτες που έχουν θέσει ένα όριο για το πόσο είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για την ηλεκτρική ενέργεια εκείνη την ώρα. Αυτή η βραχυχρόνια ζήτηση προσφοράς ορίζει την καμπύλη ζήτησης, η οποία επιτρέπει στο διαχειριστή του συστήματος να αυξήσει την τιμή και να μειώσει την κατανάλωση, μέχρι που η προσφορά και η ζήτηση να έρθουν σε ισορροπία. Στην Εικόνα 7.3 αυτή η νέα ισορροπία εμφανίζεται στο σημείο όπου η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται στα 6¢/kWh. Κατ' επέκταση, οι καταναλωτές που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια θα πληρώσουν 6¢/kWh και για τα 300 MW φορτίου εκείνη την ώρα. Επιπλέον, όλοι οι παραγωγοί που πωλούν ενέργεια λαμβάνουν και αυτοί την ίδια τιμή των 6¢/kWh, η οποία οδηγεί σε κέρδη λειτουργίας των 2¢/kWh για το εργοστάσιο New Gas, των 3¢/kWh για το εργοστάσιο New Coal και των 4¢/kWh για το εργοστάσιο Old Nuke. Έτσι, σ' αυτήν την περίπτωση, τα εργοστάσια στα δυτικά βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία και τα 200MW ενέργειας που παράγουν κινούνται κατά μήκος των παράλληλων διαδρομών πάνω στο δίκτυο για να ενωθούν με τα 100MW ενέργειας που παράγει το εργοστάσιο New Coal, προκειμένου να καλύψουν τη ζήτηση στα ανατολικά. Τέλος, στην αγορά τώρα επικρατεί μία ενιαία τιμή αγοράς των 6¢/kWh.

7.2 Λύσεις που έχουν εφαρμοστεί

Προκειμένου να επιτευχθεί η επίλυση του ενεργειακού προβλήματος που υπάρχει σήμερα, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες και έχουν εφαρμοστεί μέχρι τώρα αρκετές προτάσεις, οι οποίες αν και συμβάλουν στη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος, δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές για να εξαλειφθεί το πρόβλημα. Επιπλέον, κάποιες από αυτές τις προτάσεις παρουσιάζουν αρνητικές συνέπειες για την κοινωνία.

Αρχικά, μία λύση σ' αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να ήταν η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή να αποθηκεύεται η πλεονάζουσα ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και να επαναχρησιμοποιείται σε περιόδους μεγάλης ζήτησης, με σκοπό τη μείωση της τιμής της κορυφής (αιχμής) (Εικόνα 7.4). Αυτή η λύση, όμως, θεωρείται προς το παρόν πολυδάπανη και μη συμφέρουσα εφικτή λύση για τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. [73]



Εικόνα 7.4: Αριστερά: Ισοστάθμιση φορτίου (Load Leveling) με αποθήκευση παραγόμενης ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες (χαμηλή ζήτηση) και απόδοσή της κατά τη διάρκεια της ημέρας, Δεξιά: Εξομάλυνση αιχμών με απόδοση αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης [73]

Μια άλλη λύση που έχει προταθεί για να καλυφθεί το συνεχώς αυξανόμενο φορτίο αιχμής και η αυξανόμενη συνολική ζήτηση ενέργειας είναι η ένταξη στο σύστημα νέων μονάδων παραγωγής και η ένταξη των ακριβών αυτών μονάδων παραγωγής στο δίκτυο τις ώρες αιχμής για όλο και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η λύση αυτή λύνει μεν το πρόβλημα της κάλυψης του φορτίου, αλλά επιβαρύνει οικονομικά το σύστημα και συνεπώς τους ίδιους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι επιβαρύνονται με το επιπλέον κόστος.

Άλλα μέτρα που έχουν εφαρμοστεί είναι η αντιστάθμιση της αέργου ισχύος του συστήματος, η βελτίωση του συστήματος μεταφοράς και η βελτίωση του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα μέτρα συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ηλεκτρικού συστήματος ενέργειας και στην αξιοπιστία του, καθώς ακόμη και στην κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών, αλλά δεν αποτελούν ανατρεπτικό παράγοντα στη ραγδαία αύξηση του φορτίου.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι κανένα από τα παραπάνω εφαρμοζόμενα μέτρα δεν εγγυάται την πλήρη εξυγίανση του συστήματος από το ενεργειακό πρόβλημα που πλήττει το σημερινό ηλεκτρικό σύστημα. Λόγω του υψηλού κεφαλαίου υποδομής του ενεργειακού συστήματος, η πλέον ενδεδειγμένη λύση, για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος, αποτελεί η Διαχείριση της Ζήτησης. Όχι μόνο είναι η πιο φθηνή λύση, αλλά ίσως και η πιο αποτελεσματική, καθώς στοχεύει στην αιτία του προβλήματος, δηλαδή στην αλόγιστη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές. [82]

Συνεπώς, βασική επιδίωξη είναι να διατηρείται το φορτίο σταθερό, δηλαδή να μην εμφανίζει αιχμές. Αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω του Ευφυούς Δικτύου και στη δυνατότητα που αυτό παρέχει στους καταναλωτές να συμμετέχουν ενεργά στην αγορά με αμφίδρομη επικοινωνία: α) προς τη μία κατεύθυνση -από την ηλεκτρική επιχείρηση προς τον καταναλωτή- το Ευφές Δίκτυο, μέσω της συνεχούς παρακολούθησης του δικτύου, των σταθμών παραγωγής και των μεμονωμένων συσκευών, παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με βάση τις οποίες οι πελάτες διαμορφώνουν τις προτιμήσεις τους και β) προς την άλλη κατεύθυνση -από τον καταναλωτή προς την ηλεκτρική επιχείρηση- οι αποφάσεις των υπεύθυνων πλέον ενεργειακά χρηστών αξιολογούνται και έτσι αναπροσαρμόζεται η ισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης.

7.3 Η Διαχείριση της Ενέργειας στο Έξυπνο Δίκτυο

Με τον όρο «*Διαχείριση Ενέργειας*» εννοούμε την προσπάθεια βελτιστοποίησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στην παραγωγή όσο και στη διανομή, αλλά και στη σωστή διαχείριση των φορτίων (Βέλτιστη Διαχείριση Ζήτησης), ώστε η λειτουργία του συστήματος να καθίσταται πιο αποδοτική [75].

Για να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να μειωθούν οι απώλειες της παροχής ενέργειας και να υπάρχει εξισορρόπηση του φορτίου, προκειμένου να επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Για την επίτευξη των παραπάνω απαραίτητα στοιχεία αποτελούν η εποπτεία και ο έλεγχος. Έτσι, χρησιμοποιούνται συστήματα εποπτείας της ροής της ενέργειας τα οποία παρακολουθούν τις καταναλώσεις και ενημερώνουν τους χειριστές, βοηθώντας στην ορθότερη διαχείριση της ενέργειας. Τα συστήματα αυτά αφορούν τόσο το δίκτυο παραγωγής - μεταφοράς - διανομής (SCADA, Energy Management System), αλλά και τις κτιριακές εγκαταστάσεις (Building Management System, BMS). Η εταιρία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, με τη βοήθεια των συστημάτων αυτών, έχει συνεχώς υπό την εποπτεία της τη συνολική υποδομή της παροχής ενέργειας, δηλαδή τους σταθμούς παραγωγής, το δίκτυο μεταφοράς και διανομής, καθώς και τις εγκαταστάσεις του τελικού καταναλωτή.

Τα Ενεργειακά Πληροφοριακά Συστήματα κατέχουν σημαντικό ρόλο στη Διαχείριση της Ενέργειας. Αυτά τα συστήματα παρακολουθούν και οργανώνουν την κατανάλωση ενέργειας των πελατών και σχετικά δεδομένα μέσω του διαδικτύου, και έχουν εξελιχθεί αρκετά την τελευταία δεκαετία ώστε να μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξειδικευμένα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support System, DSS) [76]. Οι δυνατότητες ενός τέτοιου πληροφοριακού συστήματος είναι σημαντικές στη διαχείριση ενέργειας καθώς παρέχει δυνατότητες οργάνωσης ενεργειακών δεδομένων καταναλωτών, αναγνώρισης ανωμαλιών στην κατανάλωση ενέργειας, διαχείρισης κόστους ενέργειας και αυτοματοποιημένη στρατηγική διαχείρισης ζήτησης. Επιπλέον, οι πληροφορίες που βρίσκονται στο ενεργειακό πληροφοριακό σύστημα μπορούν με μια έξυπνη εξόρυξη δεδομένων (Data Mining), να συνθέσουν το ενεργειακό προφίλ ενός καταναλωτή. Με τον όρο «εξόρυξη δεδομένων» εννοούμε την εξεύρεση μιας πληροφορίας από μεγάλες βάσεις δεδομένων με χρήση αλγορίθμων ομαδοποίησης ή κατηγοριοποίησης και με τη χρήση των αρχών της στατιστικής, της τεχνητής νοημοσύνης, της μηχανικής μάθησης και των συστημάτων βάσεων δεδομένων, με στόχο η πληροφορία που θα εξαχθεί και τα πρότυπα που θα προκύψουν να έχουν δομή κατανοητή προς τον άνθρωπο έτσι ώστε να τον βοηθήσουν να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις [77]. Το ενεργειακό προφίλ του καταναλωτή είναι πολύ σημαντικό, διότι μας δείχνει τι καταναλώνει ο χρήστης (κτίριο) ανά πάσα στιγμή. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί την «ενεργειακή ταυτότητα» του χρήστη, καθώς είναι η πηγή πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά του χρήστη, τις συνήθειές του και γενικότερα τη συμπεριφορά του σαν καταναλωτή. Από το προφίλ αυτό μπορούμε να βρούμε αιχμές στην κατανάλωση, μέσες καταναλώσεις και γενικότερα σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να συντελέσουν στην ορθότερη διαχείριση της ενέργειας. Επιπλέον, τα προφίλ αυτά μπορούν να ιεραρχικοποιηθούν και να συγκριθούν με πρότυπα προφίλ ορθής ενεργειακής κατανάλωσης ώστε να γίνει εντοπισμός ενεργοβόρων καταναλωτών ή ακόμα μπορεί να γίνει και ομαδοποίηση προφίλ ανάλογα με την κατανάλωση ή την περιοχή ώστε να μελετηθεί η επίδραση κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του κτιρίου ή η επίδραση του μικροκλίματος μιας περιοχής στην κατανάλωση ενέργειας.

Ο πρωταρχικός στόχος των Ενεργειακών Πληροφοριακών Συστημάτων είναι να βοηθήσουν χειριστές εγκαταστάσεων, ιδιοκτήτες και γενικότερα άτομα που παίρνουν τις αποφάσεις, στη σωστή Διαχείριση της Ενέργειας. Στον τομέα της διαχείρισης κτιρίων αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο καθώς με τη βοήθεια του διαδικτύου καθίσταται μια έγκαιρη και έγκυρη πηγή πληροφοριών για τη συμπεριφορά του κτιρίου. Η πραγματικού χρόνου ενημέρωση των καταναλώσεων επιτρέπει στους χρήστες να αξιολογήσουν την αποδοτικότητα του κτιρίου, που με τους συμβατικούς τρόπους (π.χ. λογαριασμούς) είναι δύσκολο να παρατηρηθεί. Έτσι, με τη συνεχή ενημέρωση των χειριστών είναι δυνατόν ο άμεσος σχεδιασμός και υλοποίηση της ενεργειακής στρατηγικής άμεσα ή εντός μια ημέρας. Ο

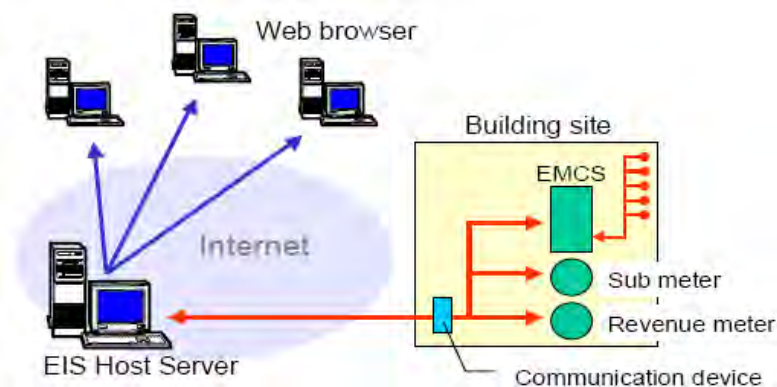
χειριστής έχει τη δυνατότητα να παρατηρεί άμεσα ή σχεδόν άμεσα τις επιπτώσεις των επεμβάσεων του στη συμπεριφορά του κτιρίου. Ένα τέτοιο σύστημα έχει να προσφέρει τα μέγιστα στη διαχείριση κτιρίων, σε σχέση με το συμβατικό τρόπο πληροφόρησης των χρηστών που μπορεί ελάχιστα στοιχεία να προσφέρει στην ενημέρωση αποδοτικότητας της εγκατάστασης. Όλες οι πληροφορίες για τις καταναλώσεις που συλλέγονται από το σύστημα αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων για να γίνει η επεξεργασία τους και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων (Data Mining), που αποτελεί και τον πυρήνα λήψης αποφάσεων του συστήματος.

Οι λειτουργίες ενός Ενεργειακού Πληροφοριακού Συστήματος μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- διαχείριση ενεργειακών δεδομένων,
- μείωση λειτουργικών εξόδων,
- μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας ελέγχου και λειτουργίας,
- προηγμένα μετρητικά συστήματα, τα οποία δημιουργούν μια ακριβή εικόνα των καταναλώσεων (Real-Time Metering, Load Profile),
- δευτερεύον μετρητές (submeter), οι οποίοι δείχνουν που ακριβώς καταναλώνεται η ενέργεια,
- δημιουργία αξιόπιστου ενεργειακού προφίλ που βελτιώνεται μέσω της εμπειρίας,
- ακριβής καταγραφή και άμεση κοστολόγηση,
- γνωστοποίηση των δεδομένων στον καταναλωτή μέσω του διαδικτύου,
- σύγκριση ενεργειακών προφίλ,
- αναγνώριση ανωμαλιών κατανάλωσης,
- εφαρμογή πολιτικών DSM/DR.

Ένα Ενεργειακό Πληροφοριακό Σύστημα, εκτός από πληροφορίες για τις καταναλώσεις των πελατών, μπορεί να διαθέτει και πληροφορίες για το κέλυφος του κτιρίου και τα φορτία του, για τις κλιματολογικές συνθήκες, για τις μεταβολές της τιμής της ενέργειας και γενικά πληροφορίες για προγράμματα διαχείρισης ζήτησης και εξοικονόμησης ενέργειας. Ο συνδυασμός των παραπάνω πληροφοριών δίνει στο σύστημα δυνατότητες για συσχετισμούς και ορθή λήψη αποφάσεων.

Σε ένα Ενεργειακό Πληροφοριακό Σύστημα, ο διακομιστής του συστήματος επικοινωνεί μέσω σημάτων ή με άμεση σύνδεση (direct link) με τους μετρητές (AMR) που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του συστήματος και στη συνέχεια επεξεργάζονται από το λογισμικό του. Οι χρήστες του συστήματος μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στο προφίλ κατανάλωσής τους και σε άλλες χρήσιμες πληροφορίες μέσω του διαδικτύου. Φυσικά, οι πληροφορίες προστατεύονται από κακόβουλη χρήση και ο χρήστης διαθέτει κωδικό για να μπορεί να έχει πρόσβαση σ' αυτές. Ακόμα, το σύστημα μπορεί να ενημερώνει το χρήστη μέσω γραπτών μηνυμάτων ή μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για την κατάσταση του προφίλ και για παρεμβάσεις που ίσως πρέπει να κάνει ή ακόμα για πιθανές ενέργειες στις οποίες πρέπει/μπορεί να προβεί αν συμμετέχει σε κάποιο πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας (DSM/DR). Η τυπική μορφή ενός Ενεργειακού Πληροφοριακού Συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 7.5 που ακολουθεί [78]:



Εικόνα 7.5: Τυπική μορφή ενός ενεργειακού πληροφοριακού συστήματος [78]

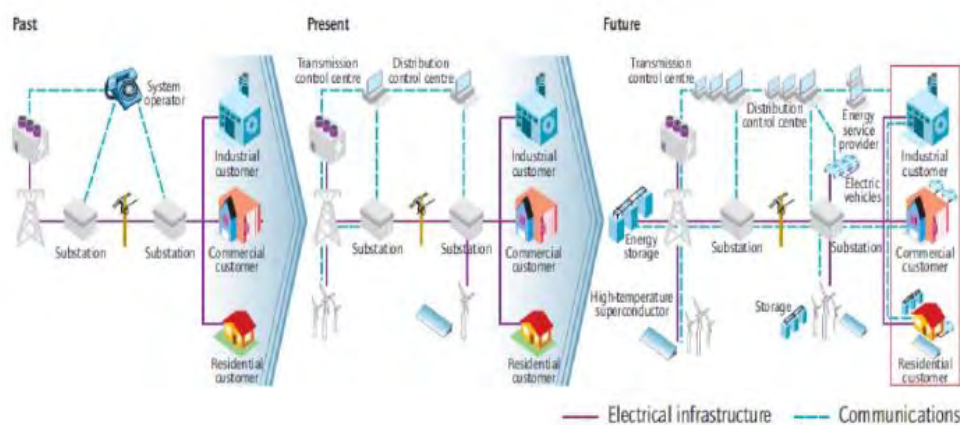
Στον τομέα της Διαχείρισης της Ενέργειας, εκτός των παραπάνω, βοηθούν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς επίσης και η συμπαραγωγή. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βοηθούν στην αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας (διεσπαρμένη παραγωγή) φορτίζοντας λιγότερο τα δίκτυα μεταφοράς, ενώ η συμπαραγωγή βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην καλύτερη αξιοποίηση των πόρων.

Ένα Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όλα τα παραπάνω δεδομένα και να σχεδιάζει την ενεργειακή πολιτική που θα ακολουθήσει ώστε να βελτιστοποιείται η απόδοση.

Συνοψίζοντας, γίνεται φανερό, πώς οι βασικοί στόχοι της Διαχείρισης Ενέργειας είναι οι ακόλουθοι:

- βελτίωση της παροχής υπηρεσιών,
- βελτίωση της ποιότητας ζωής,
- βελτίωση της ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης των επιχειρήσεων και
- βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

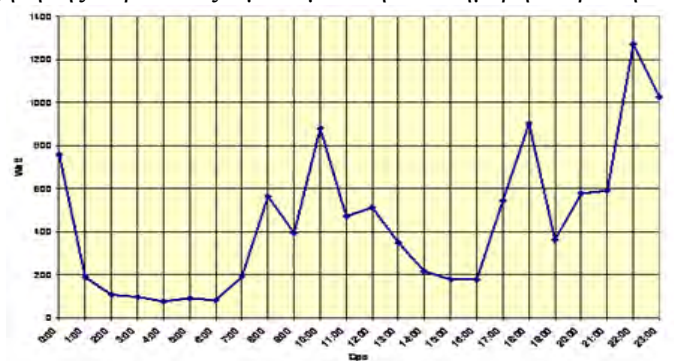
Έτσι, εκτός από τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τη μείωση των λειτουργικών εξόδων, υπάρχουν και λειτουργικά οφέλη από την ορθή διαχείριση (βελτιώνονται τα επίπεδα άνεσης, ασφάλειας και αποδοτικότητας των χρηστών που διαχειρίζονται ορθά την ενέργεια), καθώς επίσης και περιβαλλοντικά οφέλη (μειώνονται τα επίπεδα εκπομπής CO₂ και άλλων ρύπων στην ατμόσφαιρα, μειώνονται οι ενεργειακές ανάγκες και διατηρούνται καλύτερα οι φυσικοί πόροι).



Εικόνα 7.6: Η εξέλιξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

7.4 Το Έξυπνο Δίκτυο και το μοντέλο ζήτησης-προσφοράς (Smart Grid - Demand Response Process)

Για την επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού ευστάθειας και αξιοπιστίας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η μείωση των φορτίων αιχμής. Γι' αυτό η ζήτηση θα πρέπει να εξισορροπείται όχι μόνο σε καθημερινή βάση, αλλά ακόμα και να υπάρχει ωριαία εξισορρόπηση ή ακόμα εξισορρόπηση λεπτό προς λεπτό. Μολονότι η διαδικασία αυτή φαίνεται αρκετά δύσκολη, η διεκπεραίωσή της διευκολύνεται ως ένα βαθμό από το ότι η διακύμανση της ζήτησης παρουσιάζει μια ομοιότητα σε ημερήσια βάση.

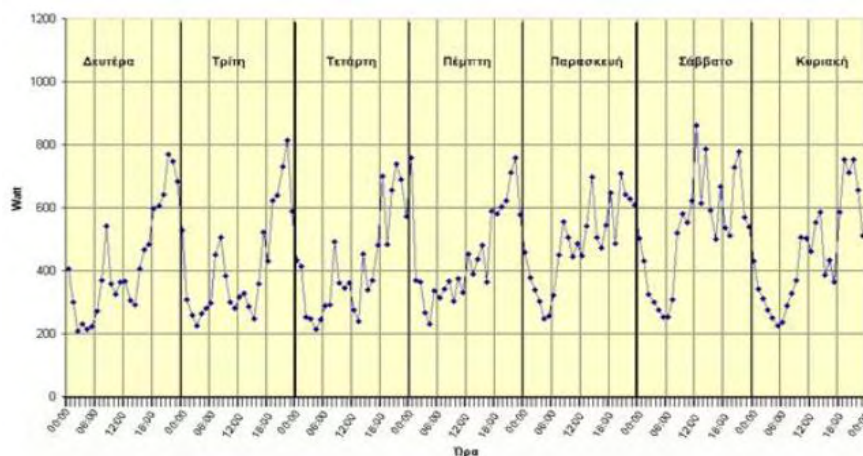


Διάγραμμα 7.2: Προφίλ ζήτησης ισχύος - Ημερήσια ζήτηση ισχύος για μία κατοικία [79]

Στο Διάγραμμα 7.2 παρουσιάζεται το προφίλ ζήτησης ισχύος μίας ημέρας (του φθινόπωρου) για μία κατοικία. Στο Διάγραμμα αυτό παρατηρούμε τη διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου, όπως γίνεται φανερό, η ελάχιστη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας από τις 12:00 έως τις 6 το πρωί. Στη συνέχεια, η κατανάλωση αυξάνεται συνεχώς μέχρι στις 8:00 το πρωί, όπου και παρουσιάζεται μία πρώτη αιχμή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σχετίζεται με τις πρωινές δραστηριότητες των ανθρώπων πριν την αποχώρησή τους για τη δουλειά. Τις επόμενες ώρες η κατανάλωση παρουσιάζει μία μικρή μείωση και σχεδόν σταθεροποιείται καταλήγοντας γύρω στις 14:00-15:00 το μεσημέρι σε μία δεύτερη αιχμή (που οφείλεται πιθανότατα στο μαγείρεμα). Η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος και μέχρι τις 23:00 το βράδυ. Το προφίλ αυτό είναι χαρακτηριστικό για τη μέση κατοικία όπου πλέον τα μέγιστα φορτία παρουσιάζονται τις απογευματινές ώρες μέχρι τις 23:00 το βράδυ και ακολουθούν τις συνήθειες-υποχρεώσεις της σύγχρονης ελληνικής οικογένειας. Οι αιχμές που παρατηρούνται οφείλονται κυρίως σε φορτία όπως για μαγείρεμα, ζεστό νερό χρήσης, φωτισμό και διασκέδαση.

Θα πρέπει, βέβαια, να τονιστεί ότι το προφίλ ζήτησης ισχύος όπως περιγράφεται παραπάνω αναφέρεται σε συγκεκριμένη εποχή του χρόνου (Φθινόπωρο) όπου δεν υπάρχει ανάγκη για κάλυψη ψυκτικών φορτίων. Αν εξετάσει κανείς το ετήσιο προφίλ ζήτησης ισχύος στον οικιακό τομέα, λόγω της εκτεταμένης χρήσης κλιματιστικών μονάδων κατά τους θερινούς μήνες, παρουσιάζεται αυξημένη ζήτηση ισχύος και κατά τις μεσημεριανές ώρες η οποία δεν αποτυπώνεται στο παρόν προφίλ. Ωστόσο τα αποτελέσματα, αν και εποχιακά, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες που με τη σειρά τους οδηγούν σε μέτρα και προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας για τα νοικοκυριά.

Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει και το γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές ώρες (12:00 το βράδυ έως τις 6:00 το πρωί) υπάρχει ένα σταθερό φορτίο περίπου 280 Watt. Αυτό το φορτίο πιθανότατα οφείλεται στο φωτισμό νυκτός (εσωτερικό και εξωτερικό), σε συσκευές που λειτουργούν όλο το 24ώρο όπως π.χ. τα ψυγεία ή σε συσκευές που τίθενται σε λειτουργία τις βραδινές ώρες λόγω χρήσης νυχτερινού τιμολογίου (όπως π.χ. πλυντήριο ρούχων ή πιάτων). Οφείλεται, όμως, και κατά ένα σημαντικό μέρος σε φορτία αναμονής (standby και off mode) από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις καθώς και άλλες μικροσυσκευές (fax, modem, router, κ.ά.).



Διάγραμμα 7.3: Εβδομαδιαία ζήτηση ισχύος για μία κατοικία [79]

Στο Διάγραμμα 7.3 παρουσιάζεται η εβδομαδιαία ζήτηση ισχύος για μία κατοικία. Όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα αυτό, η ζήτηση ισχύος κατά τη διάρκεια της εβδομάδας ακολουθεί αυτή του Διαγράμματος 7.2, δηλαδή η ελάχιστη ζήτηση παρουσιάζεται τις βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες (12:00–6:00), εν συνεχεία παρουσιάζεται μία αύξηση τις πρωινές ώρες 7:00–10:00, στη συνέχεια μειώνεται η κατανάλωση μέχρι το μεσημέρι περίπου στις 16:00 η ώρα και στη συνέχεια υπάρχει μία σταδιακή αύξηση μέχρι της 23:00 το βράδυ με τα μέγιστα να παρουσιάζονται περίπου μεταξύ 21:00–22:00 το βράδυ. [79]

Συνεπώς, καθώς οι υψηλότερες απαιτήσεις για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, η μεταφορά της ζήτησης σε περιόδους εκτός αιχμής αποτελεί τη μεγάλη πρόκληση που καλείται να αντιμετωπίσει το Ευφυές Δίκτυο μέσω της ανάπτυξης ενός μοντέλου ζήτησης-προσφοράς.

Το Ευφυές Δίκτυο κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών, αυτοματοποιημένου ελέγχου, σύγχρονες και ακριβείς συσκευές μέτρησης και γενικότερα αξιοποιεί την τεχνολογία της πληροφορίας, προκειμένου να εξασφαλίσει την καλύτερη αξιοποίηση των ηλεκτρικών πόρων.

Επιπλέον, το Ευφυές Δίκτυο χρησιμοποιεί αμφίδρομα μέσα επικοινωνίας ανάμεσα στα σημεία της παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και στα σημεία της κατανάλωσης. Η μετατροπή του παραδοσιακού point-to-point δικτύου σε ένα διαδραστικό δίκτυο, στοχεύει στην επίτευξη δυναμικής ισορροπίας ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση. Για να επιτευχθεί αυτό, στα κεντρικά σημεία ελέγχου, πρέπει να φτάνει ανά πάσα στιγμή η πληροφορία για το φορτίο που διαθέτει, καθώς και τη ζήτηση της ενέργειας από τα σημεία κατανάλωσης.

Θεμελιώδης λίθος σε ένα δίκτυο Smart Grid, είναι τα λεγόμενα Smart Meters, δηλαδή οι ηλεκτρονικές μετρητικές συσκευές, που παρέχουν ψηφιακές πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο, σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου.

Εκτός των Smart Meters, για να καταστεί ένα δίκτυο κατανάλωσης ενέργειας «έξυπνο» θα πρέπει να διαθέτει αυτοματισμούς στους υποσταθμούς και τη διανομή, σχεδιασμένους ειδικά για τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management) και τη διαχείριση των πόρων από διαφορετικές πηγές, όπως για παράδειγμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όλες αυτές οι διατάξεις (Smart Meters και αυτοματισμοί) θα πρέπει να επικοινωνούν αμφίδρομα μεταξύ τους, προκειμένου οι πληροφορίες να συγκεντρώνονται από τα στοιχεία του δικτύου και κατόπιν να αξιοποιούνται. Ο τηλεπικοινωνιακός φορέας έρχεται να εξυπηρετήσει τη μεταφορά αυτών των δεδομένων, μέσω των γνωστών μας τεχνολογιών πρόσβασης και μετάδοσης (DSL, GPRS, κ.λπ.).

Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται, καταλήγουν στο σύστημα τηλεμέτρησης και επεξεργασίας μετρητικών δεδομένων (Automated Meter Reading-AMR και Meter Data Management-MDM), όπου βρίσκονται και τα υπόλοιπα συστήματα που αποτελούν τη καρδιά του Smart Grid. [80]

Αρχικά, μία πρώτη λύση, προκειμένου το Ευφυές Δίκτυο να αντιμετωπίσει την αυξημένη ζήτηση που παρουσιάζεται σε περιόδους αιχμής, ήταν να ελέγχονται αυτόματα οι μεγάλες οικιακές συσκευές που παρουσιάζουν μακροχρόνια χρήση, όπως κλιματιστικά και θερμαντήρες, αλλά και οι μικρότερες που λειτουργούν βραχυπρόθεσμα, όπως στεγνωτήρες μαλλιών. Έτσι, κάθε φορά που η ζήτηση ενέργειας προσεγγίζει το ανώτατο όριο οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα κλείνουν τις τρέχουσες συσκευές που βρίσκονται σε λειτουργία για να μην υπερφορτωθεί το δίκτυο και οδηγηθεί σε διακοπή. Παρόλο που η στρατηγική αυτή μειώνει τις υπερβολικές απαιτήσεις σε ενέργεια, προκαλεί όμως έντονη δυσαρέσκεια και απογοήτευση στους καταναλωτές. Έτσι, η ιδέα της αναγκαστικής διακοπής λειτουργίας, μολονότι προβλέπεται μόνο για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, εγκαταλείφθηκε και προωθείται ένα αποτελεσματικότερο μοντέλο Διαχείρισης της Ενέργειας που βασίζεται στην πολιτική πρόβλεψης του φορτίου και τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο.

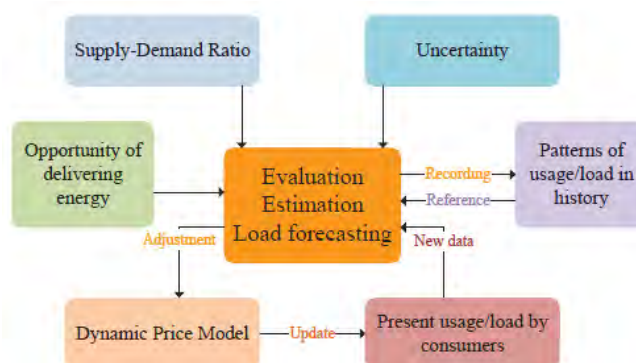
Έτσι, οι καταναλωτές θα μπορούν πλέον να συμμετέχουν ενεργά λαμβάνοντας αποφάσεις σχετικές με την ενεργειακή τους κατανάλωση βασιζόμενοι όχι μόνο σε τρέχουσες τιμές αλλά και στις αναμενόμενες τιμές μέσω της πρόβλεψης του φορτίου. Επιπλέον, θα υπάρχει διαδραστική επικοινωνία μέσω παροχής ενεργειακών συμβουλών σχετικών με τιμές αλλά και με περιβαλλοντικά θέματα. Με βάση την κατανάλωση κάθε χρήστη και τον τρόπο που αντιδρά στην τιμολόγηση θα δημιουργείται ένα ατομικό προφίλ προτίμησης, το οποίο θα συμμετέχει στη διαδικασία αξιολόγησης και θα αποθηκεύεται ως σημείο αναφοράς. Η πρόβλεψη του φορτίου, εκτός από το ιστορικό ενεργειακής χρήσης, το ζητούμενο φορτίο σε πραγματικό χρόνο και την αντίδραση στην τιμολόγηση, λαμβάνει υπόψη και παράγοντες αβεβαιότητας που περιγράφουν την ανθρώπινη συμπεριφορά προσδίδοντας στο μοντέλο

ακρίβεια και βιωσιμότητα. Τέλος, για την αξιολόγηση των τιμών και του φορτίου σημαντικό ρόλο παίζουν η διαθεσιμότητα καταναλωμένης παραγωγής, το κόστος των καυσίμων, καθώς και η πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών και η διακοπτόμενη φύση των ανανεώσιμων πηγών.

Είναι, λοιπόν, σαφές ότι πρόκειται για ένα σύστημα ανάδρασης πολλαπλών παραγόντων που συντελεί στην επίτευξη μικρότερων μεταβολών στην κατανάλωση ενέργειας, στο πλαίσιο της ατομικής εγκατάστασης κάθε καταναλωτή, αλλά επιτυγχάνει και να εξισορροπεί το σύστημα στο σύνολό του. Έτσι, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα αποφεύγουν να αγοράζουν ή να παράγουν περισσότερη ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής, θα μπορούν να διαχειρίζονται τα φορτία μακροπρόθεσμα και να καθοδηγούν τους καταναλωτές καθιστώντας τους ενεργειακά υπεύθυνους.

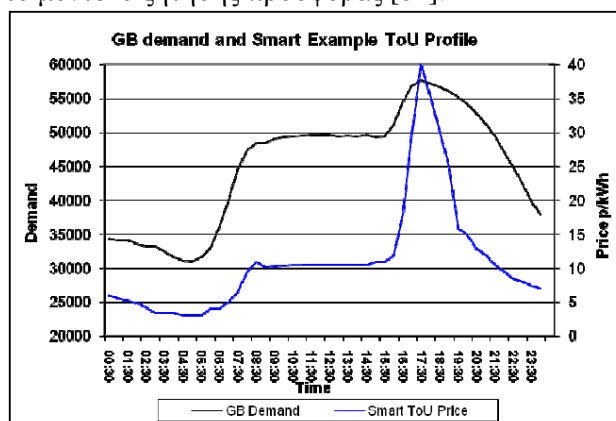
Οι δυνατότητες αυτές αλλάζουν ριζικά το τοπίο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς σήμερα τόσο οι απλοί καταναλωτές όσο και οι επιχειρήσεις σχεδόν παντού στον πλανήτη δεν έχουν την παραμικρή ιδέα για το πόση ενέργεια χρησιμοποιούν μέχρι να λάβουν το λογαριασμό. Φυσικά, δεν γνωρίζουν ποιο ποσοστό από την ενέργεια που κατανάλωσαν έχει παραχθεί από λιγνιτικό σταθμό ή αιολικό πάρκο, από φυσικό αέριο ή πετρέλαιο. Στην περίπτωση διακοπής της παροχής ρεύματος ο πελάτης είναι εκείνος που κατά κανόνα ειδοποιεί την εταιρεία, η οποία, στη συνέχεια, αποστέλλει συνεργεία για να εντοπίσουν το πρόβλημα και να το διορθώσουν.

Αντίθετα, σε ένα Ευφυές Δίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές παρέχουν πληροφορίες ακριβείας σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση του εκάστοτε καταναλωτή. Οι λογαριασμοί δε θα είναι πια «έναντι», αλλά ο κάθε καταναλωτής θα γνωρίζει που ακριβώς «ξόδεψε» ενέργεια και πόσο χρεώθηκε για αυτήν. Κατά συνέπεια, θα μπορεί να κάνει οικονομία τόσο στην ενέργεια την ίδια, όσο και στο πορτοφόλι του. Επιπλέον, με τη συγκεκριμένη μορφή τεχνολογίας θα απολαμβάνουν πια όλοι ένα δίκτυο πιο αξιόπιστο, που θα μπορεί να καλύπτει εποχιακές αυξημένες ανάγκες (π.χ. αυξημένη χρήση κλιματιστικών τους θερινούς μήνες) και να ανταποκρίνεται σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις. [80]



Διάγραμμα 7.4: Μοντέλο ζήτησης-προσφοράς [50]

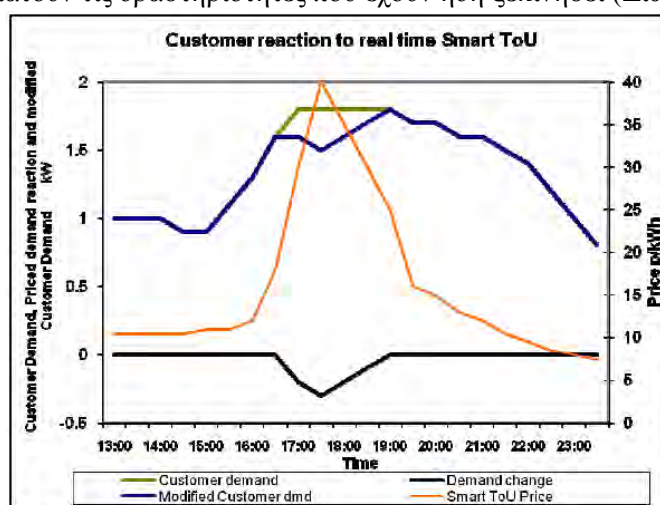
Λαμβάνοντας ως δεδομένο το προφίλ ζήτησης μιας εργάσιμης ημέρας στη Μεγάλη Βρετανία και ένα πιθανό σενάριο τιμολόγησης, καταδεικνύεται η συμπεριφορά-αντίδραση των καταναλωτών στο μοντέλο ζήτησης-προσφοράς [81].



Διάγραμμα 7.5: Ημερήσια ζήτηση Μεγάλης Βρετανίας - Παράδειγμα Time of use τιμής [81]

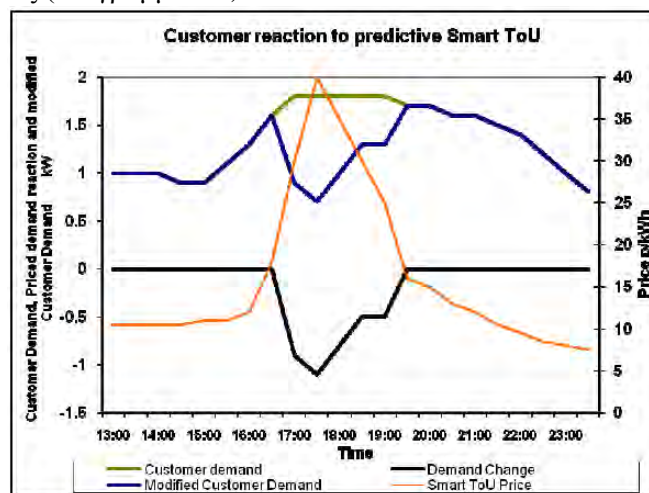
Έως τις 15:00 το μεσημέρι η τιμή του ρεύματος θεωρείται χαμηλή (11p/kWh). Στις επόμενες ώρες αυξάνεται σταδιακά 11-11-12-18p/kWh (15:00 15:30 16:00 16:30). Οι καταναλωτές ερωτώνται σχετικά με τις δραστηριότητες που πρόκειται να πραγματοποιήσουν τις επόμενες ώρες, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται μαγείρεμα, πλύσιμο ρούχων, τηλεόραση και φωτισμός. Μέσω του Ευφυούς Δικτύου ενημερώνονται αυτόματα για τη διακύμανση της τιμής του ρεύματος. Χρησιμοποιώντας τις ενεργειακές πληροφορίες, ο πελάτης ενός τέτοιου «Ευφυούς» Δικτύου μπορεί να προγραμματίσει την κατανάλωση, ρυθμίζοντας για παράδειγμα το φωτισμό του καταστήματος ή τα κλιματιστικά, ώστε να σβήνουν όταν η ζήτηση είναι μεγάλη και να τίθενται σε λειτουργία όταν είναι μικρή, με προφανή οικονομικά οφέλη, αφού στις ώρες μεγάλης αιχμής το ρεύμα κοστίζει ακριβότερα. Σκοπός του πειράματος, είναι να φανεί κατά πόσο οι καταναλωτές μεταβάλλουν την ενεργειακή τους συμπεριφορά περιορίζοντας κάποιες από τις προγραμματισμένες δραστηριότητές τους.

Με εφαρμογή της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο αναμένεται μείωση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Ωστόσο, η μείωση αυτή προβλέπεται μικρή καθώς οι καταναλωτές συνήθως δεν σταματούν τις δραστηριότητες που έχουν ήδη ξεκινήσει (Διάγραμμα 7.6).



Διάγραμμα 7.6: Ανταπόκριση καταναλωτών σε τιμολόγηση πραγματικού χρόνου [81]

Αν, όμως, στο μοντέλο ζήτησης-προσφοράς ενσωματωθεί η δυνατότητα πρόβλεψης του ζητούμενου φορτίου, το αυτοματοποιημένο δίκτυο της οικίας όχι μόνο παρέχει τιμές του ρεύματος σε πραγματικό χρόνο, αλλά και προειδοποιεί τους καταναλωτές για επερχόμενες αυξήσεις της τιμής. Η δυνατότητα πρόβλεψης και αποστολής των εκτιμώμενων τιμών έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ενεργειακή ζήτηση. Η μείωση αναμένεται να είναι μεγαλύτερη καθώς οι καταναλωτές είναι πιθανό να καθυστερήσουν την έναρξη των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων τους (Διάγραμμα 7.7).



Διάγραμμα 7.7: Ανταπόκριση καταναλωτών στην τιμολόγηση με πρόβλεψη [81]

7.5 Μέτρα διαχείρισης της ηλεκτρικής ζήτησης

7.5.1 Ιστορική αναδρομή

Η Διαχείριση της Ηλεκτρικής Ζήτησης (Demand Side Management, DSM) είναι ένα πλαίσιο που περιλαμβάνει μία σειρά από μέτρα για τη μεταβολή της ζήτησης έτσι ώστε να επωφεληθούν όλες οι εμπλεκόμενες οντότητες της αγοράς. Η πορεία του DSM μπορεί να διακριθεί σε 5 «κύματα». Αυτά αναφέρονται στη χρονική εξέλιξη του DSM στις Η.Π.Α., αλλά παρόλα αυτά η εξέλιξη στις Η.Π.Α. είναι άμεσα ανάλογη με την εξέλιξη σε διεθνές επίπεδο. [83][84][85][92]

➤ 1^ο κύμα: Δεκαετία του 1970:

Το 1973 όταν εκδηλώθηκε η πρώτη ενεργειακή κρίση, όταν η τιμή του πετρελαίου πενταπλασιάστηκε μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, διαπιστώνεται η άμεση σχέση της ενεργειακής πολιτικής και της εθνικής ανεξαρτησίας μιας χώρας και συνειδητοποιείται το γενικότερο πρόβλημα του εξαντλήσιμου των ενεργειακών αποθεμάτων. Η πετρελαϊκή αυτή κρίση είχε σαν αποτέλεσμα να προκληθεί αύξηση στις τιμές των καυσίμων, αλλά παράλληλα έδωσε και το έναυσμα για να ξεκινήσουν επίσημες συζητήσεις με σκοπό την εύρεση τρόπων για τον περιορισμό της ζήτησης. Αναγνωρίστηκε ότι οι τιμές του ηλεκτρισμού δεν είναι άμεσα ανάλογες με το κόστος παραγωγής, αλλά επηρεάζονται από πολιτικές αποφάσεις. Έτσι, θα έπρεπε να βρεθούν κίνητρα που θα είχαν ως στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης. Το σημείο εστίασης του 1^{ου} κύματος ήταν τα προγράμματα ενεργειακής απόδοσης, καθώς θεωρήθηκε ότι αυτά τα προγράμματα θα είναι πιο οικονομικά από την εγκατάσταση νέων μονάδων. Τα προγράμματα αυτά ήταν σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να φέρνουν άμεσα αποτελέσματα. Δεν δόθηκε, όμως, επαρκής χρόνος και κονδύλια για την επιτήρηση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι αξιολογήσεις γίνονταν μέσω συνεντεύξεων του κοινού. Τον έλεγχο και την εποπτεία των DSM προγραμμάτων στις Η.Π.Α. την είχε η Ομοσπονδιακή Διεύθυνση Ενέργειας (δηλαδή ο πρόγονος του Υπουργείου Ενέργειας). Για πρώτη φορά προτάθηκαν δυναμικά τιμολόγια χρέωσης (time-varying rates) για μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές, και συγκεκριμένα τα τιμολόγια ανά περίοδο χρήσης (time-of-use rates).

➤ 2^ο κύμα: Δεκαετία του 1980:

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, το ενδιαφέρον στράφηκε στην επίτευξη ενός κατανοητού συνόλου στόχων για τη διαμόρφωση της καμπύλης του φορτίου. Θεωρήθηκε ότι τα προγράμματα DSM θα διαδραμάτιζαν βασικό ρόλο στο σχεδιασμό του συστήματος και ιδιαίτερα όσον αφορά τη διαχείριση των ενεργειακών πόρων. Αυτό οδήγησε στην έννοια του σχεδιασμού του συστήματος ελαχίστου κόστους.

Στη συνέχεια, στα μέσα της δεκαετίας του 1980, προέκυψαν ζητήματα που αφορούσαν τον τρόπο με τον οποίο θα ήταν δυνατή η μείωση των εσόδων των εταιριών που προωθούσαν μεγάλα και δαπανηρά προγράμματα DSM. Προκειμένου να διασφαλιστεί την περίοδο εκείνη η κερδοφορία των εταιριών παραγωγής, έλαβε χώρα μία αύξηση των τιμών του ηλεκτρισμού. Αυτό οφείλονταν στο γεγονός, ότι καθώς τα προγράμματα DSM μειώνουν τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο κατ' επέκταση οδηγεί σε χαμηλότερες πωλήσεις ηλεκτρισμού, παράλληλα μειώνεται και το κόστος παραγωγής.

Έτσι, κατά την διάρκεια του 2^{ου} κύματος πραγματοποιήθηκαν αρκετές μελέτες ανάλυσης κόστους για την εξαγωγή όλων των αλληλοσυγκρουόμενων φαινομένων των προγραμμάτων DSM για τους παραγωγούς, τους καταναλωτές και γενικότερα για όλο το κοινωνικό σύνολο και επιπλέον διεξήχθησαν πειράματα με τιμολόγια χρέωσης πραγματικού χρόνου (real-time pricing).

➤ 3^ο κύμα: Αρχές της δεκαετίας του 1990:

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, εκδόθηκαν νέες οδηγίες και ρυθμιστικά πλαίσια για την ενσωμάτωση προγραμμάτων DSM και την παροχή κινήτρων για διάφορους φορείς που αφορούσαν την επένδυση σε προγράμματα ενεργειακής απόδοσης. Υπήρξε μια διευρυμένη εξάπλωση του DSM σε 447 εταιρίες παραγωγής των Η.Π.Α. και η συνολική επένδυση έφτασε τα \$3.20 δις και ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην εξέταση της επίδρασης του DSM στο περιβάλλον.

Στη συνέχεια, στα μέσα της δεκαετίας του 1990, παρατηρήθηκε μία αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των ανεξάρτητων παραγωγών και των καθετοποιημένων παραγωγών. Εξαιτίας του ανταγωνισμού μειώθηκε ο προϋπολογισμός για επενδύσεις σε προγράμματα DSM.

➤ 4^ο κύμα: Τέλη της δεκαετίας του 1990:

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, οι ρυθμιστικές αρχές εκδήλωσαν ενδιαφέρον για αύξηση των δαπανών από τις εταιρίες παραγωγής για τα προγράμματα DSM. Έτσι, έγινε η πρόταση της προσθήκης της «χρέωσης κοινωνικού αγαθού» στα τιμολόγια του ηλεκτρισμού, προκειμένου να συγκεντρωθούν έσοδα που θα ενίσχυαν τις δαπάνες. Τον έλεγχο των προγραμμάτων τον είχαν οι εταιρίες παραγωγής, ενώ την ενσωμάτωση στα προγράμματα αυτά την αναλάμβαναν οι Εταιρίες Ενεργειακών Υπηρεσιών (Energy Serving Companies, ESCOs). Οι συνολικές δαπάνες κατά την διάρκεια της περιόδου 1989-1999 για το DSM ανήρθαν στα \$14.70 δις.

➤ 5^ο κύμα: Δεκαετία του 2000 και μετέπειτα:

Το 5^ο κύμα ξεκίνησε το 2001 και συγκεκριμένα από την κρίση της χονδρεμπορικής αγοράς του ηλεκτρισμού στην Καλιφόρνια που επεκτάθηκε και σε άλλες πολιτείες. Κατά την διάρκεια αυτού του κύματος, το βάρος δόθηκε στα δυναμικά τιμολόγια και λιγότερο στην ενεργειακή απόδοση. Η δυναμική τιμολόγηση (Dynamic Pricing) είναι μια μορφή τιμολόγησης όπου είτε είναι άγνωστη η τιμή μιας επερχόμενης περιόδου είτε είναι άγνωστη η διάρκεια μιας περιόδου με γνωστή τιμή. Το real-time pricing είναι μια μορφή dynamic pricing. Τέλος, το 5^ο κύμα χαρακτηρίστηκε από την εισαγωγή ψηφιακών τεχνολογιών σε μεγάλη κλίμακα της αγοράς.

7.5.2 Η έννοια της Διαχείρισης Ζήτησης (Demand Side Management, DSM)

Η μεταβολή και η επεξεργασία της ζήτησης προκειμένου να καταπολεμηθεί το πρόβλημα του υψηλού φορτίου αιχμής και της συνεχώς αυξανόμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται ως «*Διαχείριση της Ζήτησης*» (Demand Side Management, DSM). Η Διαχείριση Ζήτησης περιλαμβάνει «*συστηματικές δραστηριότητες που παρέχουν οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και η κυβέρνηση και οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να αλλάξουν την ποσότητα ή/και το χρόνο της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές για το συλλογικό όφελος της κοινωνίας, της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας και των πελατών της*» [92].

Πιο συγκεκριμένα, η Διαχείριση της Ζήτησης αφορά τη δράση επηρεασμού της ζήτησης της ενέργειας είτε για να την μειώσει είτε για να την αυξήσει ανάλογα με την εκάστοτε επιθυμητή ζήτηση. Επίσης, μπορεί να αφορά την ίδια τη διαχείριση των φορτίων από τον παραγωγό ώστε να μειωθεί το κόστος λειτουργίας της μονάδας παραγωγής και συνεπώς της μονάδας ενέργειας. Αυτό σημαίνει, δηλαδή, ότι γίνεται διαχείριση των φορτίων των καταναλωτών ώστε να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά η ενέργεια. Η έννοια της «Διαχείρισης της Ενέργειας» δεν είναι ταυτόσημη με την έννοια της «Εξοικονόμησης Ενέργειας», αν και οι δύο αυτές έννοιες είναι στενά συνδεδεμένες. Η Διαχείριση της Ζήτησης αφορά κινήσεις εξοικονόμησης ενέργειας που γίνονται σε καταναλωτές στοχεύοντας στην αλλαγή του προφίλ κατανάλωσης και δεν αφορά γενικότερα την πολιτική για χρήση συσκευών υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας.

Η έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης αναφέρεται σε ένα σύνολο προγραμμάτων και δράσεων που εφαρμόζουν οι εταιρίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τον έλεγχο, τη διαμόρφωση και τη μείωση της ζήτησης από τους καταναλωτές [85]. Τα προγράμματα αυτά έχουν ως στόχο τους να χρησιμοποιήσουν τη διαθέσιμη ενέργεια πιο αποτελεσματικά, έτσι ώστε να αποφευχθεί ή έστω να καθυστερήσει η εγκατάσταση νέων σταθμών παραγωγής και η περαιτέρω επέκταση των δικτύων μεταφοράς. Περιλαμβάνουν προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας και ενεργειακής αποδοτικότητας, προγράμματα απόκρισης της ζήτησης, προγράμματα υποκατάστασης καυσίμου και προγράμματα διαχείρισης φορτίου για εμπορικούς και οικιακούς καταναλωτές [87].

Η έννοια του DSM εισήχθη από το Ινστιτούτο Έρευνας της Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Power Research Institute, EPRI) την δεκαετία του 1980 [91] και προέκυψε από την ανάγκη για τη διευθέτηση πολλών ζητημάτων του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στις

αναπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα ζητήματα περιλαμβάνουν τη ραγδαία αύξηση της ζήτησης, την αβεβαιότητα των τιμών των καυσίμων και της επίδρασης στο περιβάλλον και από την ανάγκη διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στο υπάρχον δίκτυο διανομής [88]. Με την υιοθέτηση και την κατάλληλη εφαρμογή των μέτρων αυτών η κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων μπορεί να μειωθεί με αποτέλεσμα την μείωση εκπομπής αέριων ρύπων. Για την επίτευξη των στόχων της Διαχείρισης Ζήτησης είναι απαραίτητη η αξιοποίηση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας, η συνεχής εποπτεία και ο έλεγχος των εγκαταστάσεων, η διαφορετική τιμολόγηση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης και η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η δυναμική τιμολόγηση, δηλαδή η τιμολόγηση της KW ανάλογα με την ώρα της ημέρας στην οποία καταναλώνεται, είναι πολύ σημαντική, καθώς αντικατοπτρίζει το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή δημιουργώντας κίνητρα για μείωση της κατανάλωσης σε ώρες αιχμής, με αποτέλεσμα την ομαλοποίηση της καμπύλης ζήτησης. Αυτό αυτόματα σημαίνει λιγότερο φορτισμένες γεννήτριες και δίκτυα (μικρότερες απώλειες) και συνεπώς εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων. Το κόστος παραγωγής της ενέργειας δεν αντικατοπτρίζεται άμεσα στον καταναλωτή στις περισσότερες οικονομίες, όμως, στην πραγματικότητα όσο αυξάνεται η ανάγκη για ενέργεια τόσο αυξάνεται και το κόστος της μονάδας ενέργειας. Σε υψηλές φορτίσεις του συστήματος εντάσσονται οι λιγότερο αποδοτικές μονάδες για την κάλυψη των αιχμών, με υψηλά λειτουργικά κόστη. Οι μονάδες αυτές, που καλούνται στρεφόμενη εφεδρεία, εντάσσονται για την κάλυψη των επιπλέον αναγκών σε ενέργεια και αυξάνουν δραματικά το κόστος παραγωγής. Συνεπώς, ο περιορισμός των αιχμών μειώνει άμεσα και την ανάγκη ένταξης τέτοιων μονάδων. Αν οι καταναλωτές πλήρωναν το πραγματικό κόστος της ενέργειας που καταναλώνουν ανά πάσα στιγμή και όχι μια σταθερή τιμή, τότε οι μεταβολές του κόστους θα αντικατοπτρίζονταν και στη ζήτηση ενέργειας. Αγνοώντας, όμως, το πραγματικό κόστος της ενέργειας σε ώρες αιχμής, οι καταναλωτές δεν έχουν κίνητρο για να μειώσουν την ενέργεια που καταναλώνουν.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, γίνεται φανερό ότι το DSM αποσκοπεί στη συνεργασία των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού και των καταναλωτών και έχει ως στόχο του τον έλεγχο, την επιρροή και τη μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης προς όφελος δικό τους, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος [88].

7.5.3 Κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη του DSM

Ο κύριος λόγος για την εισαγωγή προγραμμάτων Διαχείρισης Ζήτησης αποτελεί η προοπτική για αυξημένη αποδοτικότητα της λειτουργίας του συστήματος, καθώς και των υφιστάμενων επενδύσεων στους τομείς της παραγωγής και της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, η δέσμευση για λειτουργία βασισμένη σε απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού καθιστά τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας κεντρικά πρόσωπα στην διαδικασία αποφάσεων για τη λειτουργία και τη μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος. Είναι φανερό, ότι η αξιοποίηση του DSM υποστηρίζει την τάση για μία απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρισμού και παρέχει δυνατότητες επιλογής στους καταναλωτές σχετικά με τη χρήση του και δυνατότητες απόκρισης σε διακυμάνσεις στις τιμές του ηλεκτρισμού. Ωστόσο, η Διαχείριση της Ζήτησης δεν έχει ενσωματωθεί ακόμα πλήρως στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

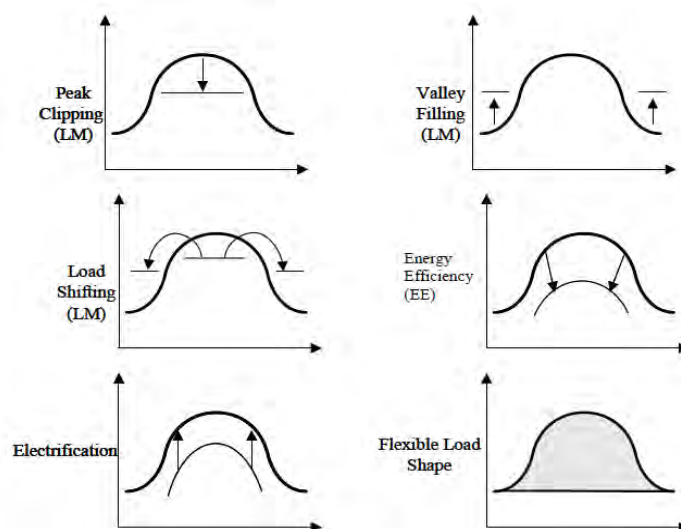
Υπάρχουν, όμως, ορισμένα θέματα που μπορούν να επιταχύνουν τη διείσδυση της Διαχείρισης Ζήτησης, όπως είναι η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής που κάνει επιτακτική την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος, η ανάπτυξη του κλάδου της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (Information and Communication Technology, ICT), καθώς και η γήρανση του εξοπλισμού της υποδομής του ηλεκτρικού συστήματος. [89]

7.5.4 DSM και Έξυπνο Δίκτυο

Στα Ευφυή Δίκτυα κεντρική θέση κατέχουν οι μέθοδοι για τη μεταβολή της ζήτησης. Μέχρι τώρα, το DSM ήταν μέρος του σχεδιασμού του συμβατικού δικτύου και σε πολλές περιπτώσεις συνεχίζει ακόμα να είναι. Δηλαδή, το DSM αποτελεί σημαντική παράμετρο τόσο στο σχεδιασμό των παρόντων όσο και των μελλοντικών συστημάτων. [90]

Έτσι, γίνεται φανερό πως η εφαρμογή και η ανάπτυξη των προγραμμάτων DSM στηρίζεται, εκτός από την εξέλιξη των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας (ICT), και στην ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids), καθώς οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση του φορτίου αλλά και τη διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφορετική τιμολόγηση ανάλογα με τη χρονική περίοδο ή το κόστος παραγωγής ενέργειας και η ανάγκη απόρριψης φορτίου, καθιστά απαραίτητη την αυξημένη συμμετοχή των καταναλωτών μέσω αυτοματοποιημένης ή χειροκίνητης απόκρισης και μέσω επικοινωνίας με το διαχειριστή του συστήματος. Οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν ωριαία ανάγνωση μέτρησης, ανατροφοδότηση πληροφοριών σε πελάτες μέσω οθόνης, αυτοματοποιημένο άμεσο έλεγχο φορτίου και αμφίδρομη επικοινωνία. Με τη χρήση, λοιπόν, των έξυπνων αυτών συσκευών δίνεται η δυνατότητα στους καταναλωτές να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν με αυτόν τον τρόπο ενέργεια (πολιτικές DSM).

7.5.5 Στρατηγικές Διαχείρισης της Ζήτησης



Εικόνα 7.7: Τρόποι μεταβολής της καμπύλης φορτίου [92]

Υπάρχουν έξι βασικές στρατηγικές Διαχείρισης Ζήτησης, οι οποίες μεταβάλλουν την καμπύλη του φορτίου (Εικόνα 7.7). Οι εταιρίες χρησιμοποιούν αυτές τις στρατηγικές κάθε φορά με βάση τις ανάγκες τους και τους συνολικούς αντικειμενικούς τους στόχους [92][94]:

- 1) **Energy Efficiency:** Η πρώτη στρατηγική είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα, που έχει ως σκοπό τη μείωση της συνολικής ζήτησης εξαιτίας ενεργειακά αποδοτικότερου εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, η ενεργειακή αποδοτικότητα στοχεύει στην προώθηση αποδοτικότερων τεχνολογικών επιλογών στη θέση πεπαλαιωμένου εξοπλισμού, καθώς επίσης και στην επιμόρφωση των χρηστών.
- 2) **Peak Clipping:** Η δεύτερη στρατηγική αφορά τη μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής. Τα συγκεκριμένα προγράμματα κάνουν μία πιο συγκεκριμένη προσέγγιση στοχεύοντας στη μείωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των σημαντικών περιόδων αιχμής των εταιριών, δηλαδή των περιόδων με τη μεγαλύτερη ζήτηση από πλευράς καταναλωτών.
- 3) **Load Shifting:** Η τρίτη στρατηγική ονομάζεται μετατόπιση φορτίου και έχει να κάνει με τη μετακίνηση της κατανάλωσης από μια χρονική περίοδο σε άλλη. Η μετατόπιση φορτίου, δηλαδή, στοχεύει στη μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής και ταυτόχρονα την αύξηση της ζήτησης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως μέσω χρεωστικών συστημάτων, στα οποία οι καταναλωτές επιβραβεύονται για χρησιμοποίηση ενέργειας σε περιόδους εκτός αιχμών. Η στρατηγική αυτή περιλαμβάνει, επίσης, συστήματα όπως οι δυναμικές χρεώσεις, που χρεώνουν περισσότερο για κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους αιχμών και τα διακοπτόμενα φορτία που παρέχουν

εκπτώσεις σε αντάλλαγμα του δικαιώματος να μειώνουν την τροφοδότηση των καταναλωτών για λίγες ώρες.

- 4) Valley Filling: Η τέταρτη στρατηγική αναφέρεται στην αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης με σκοπό τη βελτίωση του συντελεστή φορτίου του συστήματος. Τα συγκεκριμένα προγράμματα αύξησης φορτίου αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση σε συγκεκριμένες περιόδους, προωθώντας οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες που λειτουργούν κυρίως σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Τέτοια προγράμματα είναι κατάλληλα όταν η εταιρία αναζητά τρόπους να αυξήσει το συνολικό φορτίο της, ή ίσως σε περιπτώσεις που θέλει να ενθαρρύνει τους πελάτες της να στραφούν σε εναλλακτικές πηγές καυσίμων.
- 5) Electrification: Η πέμπτη στρατηγική αφορά σε μία γενική αύξηση της ζήτησης.
- 6) Flexible Load Shape: Η τελευταία στρατηγική αναφέρεται στην ευελιξία του φορτίου με σκοπό την άμεση ανταπόκριση σε επείγουσες καταστάσεις.

7.5.6 Μηχανισμοί προώθησης του DSM

Οι μηχανισμοί προώθησης προγραμμάτων Διαχείρισης της Ζήτησης [93] είναι πρωτοβουλίες που αποσκοπούν να υπερνικήσουν διάφορα φράγματα πολιτικής, τα οποία εμποδίζουν την επίτευξη ενεργειακά αποδοτικών δραστηριοτήτων και οικονομικά αποδοτικής διαχείρισης, αλλά και την επίτευξη εθνικών ενεργειακών στόχων. Οι μηχανισμοί αυτοί βοηθούν την εφαρμογή προγραμμάτων, αλλά απευθύνονται στους οργανισμούς που θέτουν σε εφαρμογή αυτά τα προγράμματα και όχι σε καταναλωτές. Αντίθετα, τα προγράμματα Διαχείρισης της Ζήτησης και της ενεργειακής απόδοσης είναι συγκεκριμένες δράσεις που πραγματοποιούνται από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και απευθύνονται στους τελικούς χρήστες της ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δύσκολο να γίνει σαφής διάκριση μεταξύ ενός μηχανισμού και ενός προγράμματος. Τα παραδείγματα στον Πίνακα 7.1 απεικονίζουν τη διάκριση μεταξύ των μηχανισμών και των προγραμμάτων.

Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους ανάλογα με τη διάσταση που επιλέγεται. Μία κατηγοριοποίηση πολλαπλής διάστασης εμπεριέχει την ταυτόχρονη ανάλυση διάφορων παραγόντων στο σύστημα κατηγοριοποίησης. Αντιθέτως, στην κατηγοριοποίηση μιας διάστασης εξετάζεται ένας μόνο παράγοντας. Με βάση, λοιπόν, την κατηγοριοποίηση μιας διάστασης διακρίνονται οι εξής μηχανισμοί:

- α) Μηχανισμοί ελέγχου.
- β) Μηχανισμοί χρηματοδότησης.
- γ) Μηχανισμοί στήριξης.
- δ) Μηχανισμοί αγοράς.

Μηχανισμός	Πρόγραμμα
Ένας ρυθμιστής επιτρέπει σε μία επιχείρηση κοινής ωφέλειας να αυξήσει τις τιμές της για να καλύψει το κόστος των εκπτώσεων σε πελάτες που αγοράζουν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές.	Μία επιχείρηση κοινής ωφέλειας παρέχει εκπτώσεις σε πελάτες που αγοράζουν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές.
Μία κυβέρνηση θεσπίζει έναν οργανισμό χρηματοδότησης της ενεργειακής απόδοσης.	Μία επιχείρηση κοινής ωφέλειας υλοποιεί προγράμματα ενεργειακής απόδοσης που χρηματοδοτούνται από τον οργανισμό χρηματοδότησης της ενεργειακής απόδοσης.
Μία χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζει ένα πρωτόκολλο σχετικά με την προσφορά ζήτησης στην αγορά.	Μία επιχείρηση κοινής ωφέλειας προσφέρει διακοπτόμενα τιμολόγια χαμηλών τιμών σε πελάτες και στη συνέχεια μειώσεις στις προσφορές ζήτησης στην αγορά.

Πίνακας 7.1: Παραδείγματα Μηχανισμών και Προγραμμάτων

Για την αξιολόγηση των μηχανισμών αυτών είναι δύσκολη η χρησιμοποίηση ποσοτικών δεικτών, όπως της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνουν. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ποσοτικοί αυτοί δείκτες ποικίλουν ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εφαρμόζεται ο μηχανισμός και τον τρόπο εφαρμογής του. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται άλλα κριτήρια αξιολόγησης, όπως είναι η αποτελεσματικότητα του μηχανισμού σε προηγούμενες εφαρμογές, τα εμπόδια τα οποία ξεπερνά ο συγκεκριμένος μηχανισμός, οι επιπτώσεις της

ανακατανομή της ηλεκτρικής βιομηχανίας (αποδεσμοποίηση, ιδιωτικοποίηση και ανταγωνισμός) στο μηχανισμό, η ευελιξία του, η οικονομική αποδοτικότητά του, καθώς και άλλα κριτήρια.

7.5.6.1 Μηχανισμοί ελέγχου

Οι μηχανισμοί ελέγχου είναι οι μηχανισμοί οι οποίοι περιλαμβάνουν άμεσες δραστηριότητες για αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς και είναι οι ακόλουθοι [93]:

➤ Υποχρεωτική Παροχή Ενεργειακής Αποδοτικότητας:

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός έχει να κάνει με μια νομική απαίτηση που επιβάλλεται από το κράτος στις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στους μεγάλους καταναλωτές να συμπεριλαμβάνουν στο σύνολο των λιανικών πωλήσεων ή χονδρικών αγορών τους αντίστοιχα καθορισμένα αποτελέσματα ενεργειακής αποδοτικότητας. Ο μηχανισμός αυτός δημιουργεί μια ευδιάκριτη αγορά ενεργειακής αποδοτικότητας με το μέγεθός της να καθορίζεται από το κράτος.

Ο καθορισμένος στόχος από το κράτος θα πρέπει να ορίζεται αυστηρά σε σχέση με το μέγεθος και τα αποτελέσματα, αλλά και με πρακτικούς όρους. Το κράτος μπορεί να απαιτήσει ένα συγκεκριμένο επίπεδο ενεργειακών εξοικονομήσεων σε σχέση με την ποσότητα της ενέργειας που πωλείται από μία εταιρία ηλεκτροπαραγωγής ή αγοράζεται από ένα μεγάλο καταναλωτή. Ο καθορισμένος αυτός στόχος μπορεί να επιβληθεί στους υποκείμενους φορείς, είτε σε ατομική βάση για τον κάθε πωλητή είτε σε μία συμμετοχική βάση. Στη συμμετοχική αυτή βάση ορίζεται ένα κεντρικό σώμα αντιπροσωπείας όλων των πωλητών, το οποίο αναλαμβάνει την εκτέλεση των απαραίτητων καθηκόντων, καθορίζει τη συμμετοχή του κάθε πωλητή και έρχεται σε συμφωνίες με τους προμηθευτές των απαραίτητων υπηρεσιών ενεργειακής αποδοτικότητας. Μπορεί να αναπτυχθεί εμπόριο παραδοτέων αποτελεσμάτων ενεργειακής αποδοτικότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων και στις δύο περιπτώσεις.

➤ Όροι Αδειοδότησης Ενεργειακής Αποδοτικότητας για Ηλεκτρικές Εταιρίες:

Ο μηχανισμός αυτός καθιερώνει ένα νομικό πλαίσιο, ώστε να απαιτήσει από τις εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής να προωθήσουν μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας σύμφωνα με τους όρους, στο πλαίσιο των οποίων τους παρέχεται η άδεια να εκτελέσουν τις δραστηριότητές τους. Ο μηχανισμός αυτός είναι μέρος της προσπάθειας ελέγχου των δραστηριοτήτων των εταιριών, ο οποίος στα πλαίσια της εμπορευματοποίησης, του ανταγωνισμού και της εισόδου νέων ιδιωτικών παικτών στην αγορά είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

Οι όροι αδειοδότησης για δράσεις ενεργειακής αποδοτικότητας μπορούν να έχουν διάφορα πλεονεκτήματα, όπως καθορισμό του απαιτούμενου επιπέδου DSM από το κράτος και ίση επιβολή σε όλα τα τμήματα της αγοράς, ανεξαρτήτως του ανταγωνισμού.

➤ Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Πόρων (IRP):

Ο συγκεκριμένος σχεδιαστικός μηχανισμός αναζητά τη βέλτιστη επιλογή εξυπηρέτησης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών από πλευράς κόστους. Στο ευρύτερο πλαίσιο του, ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει όλες τις ενεργειακές μορφές και το σύνολο της εθνικής ενεργειακής αγοράς.

Ο IRP μπορεί να εφαρμοστεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Στη μία περίπτωση, το κράτος είναι αυτό που έχει τον απόλυτο έλεγχο της επίβλεψης της διαδικασίας μέσω της δημιουργίας ενός ανεξάρτητου σώματος. Στην άλλη περίπτωση, η ίδια η εταιρία υποχρεώνεται από το κράτος να δημοσιεύει σε τακτά χρονικά διαστήματα μια αναφορά για την πορεία της στρατηγικής της και να ζητά συμβουλές και σχόλια επ' αυτής.

Πάντως, ανεξαρτήτως του τύπου IRP που ακολουθείται, ο μηχανισμός αυτός είναι μία συνεχής και μόνιμη διαδικασία που περιλαμβάνει σχεδιασμό, εφαρμογή και αξιολόγηση, ενώ αποτελεί μια προσπάθεια εξισορρόπησης βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων στόχων.

➤ DSM και Ενεργειακή Αποδοτικότητα ως Εναλλακτικές στην Επέκταση του Δικτύου:

Ο μηχανισμός αυτός αναφέρεται στην ανάπτυξη και την εφαρμογή κανονισμών που απαιτούν από τους διαχειριστές του δικτύου να ερευνήσουν αν οι εναλλακτικές Διαχείρισης

Ζήτησης είναι οικονομικά αποδοτικότερες σε σύγκριση με την περίπτωση επέκτασης του δικτύου. Ο διαχειριστής του δικτύου πρέπει να δημοσιεύει κάθε χρόνο μια Αναφορά Δυνατοτήτων Ενίσχυσης του Δικτύου, η οποία περιλαμβάνει:

- α. μια γενική περιγραφή του δικτύου,
- β. αναγνώριση της γεωγραφικής θέσης αλλά και της φύσης των εκάστοτε εμποδίων και περιορισμών του δικτύου,
- γ. πρόβλεψη της αύξησης φορτίου για τα επόμενα δέκα χρόνια,
- δ. περιγραφή του προφίλ φορτίου κάθε περιοχής του δικτύου, και
- ε. αναγνώριση των σημαντικότερων συμμετεχόντων στο φορτίο αιχμής κάθε περιοχής.

Ο μηχανισμός αυτός είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμος στο επίπεδο διανομής της βιομηχανίας ηλεκτρισμού, όπου ο βαθμός ανάπτυξης (επέκταση γραμμών, υποσταθμοί) είναι σε πλήρη ευθυγράμμιση με τα αποτελέσματα Διαχείρισης Ζήτησης και ενεργειακής αποδοτικότητας.

➤ Ρύθμιση Εσόδων:

Ο μηχανισμός αυτός καθορίζει το μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο εσόδων μιας εταιρίας ετησίως. Μέσα στο πλαίσιο αυτό κάθε εταιρία είναι ελεύθερη να επιλέξει τη δομή αλλά και τα επίπεδα των τιμών πώλησης. Ο μηχανισμός αυτός είναι εφικτός μόνο σε μονοπωλιακές εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής. Για το λόγο αυτό, σε ανταγωνιστικές αγορές ο μηχανισμός αναφέρεται στα μονοπωλιακά στοιχεία της αγοράς, δηλαδή τις εταιρίες μεταφοράς και διανομής.

Ο μηχανισμός ρύθμισης εσόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχωρίσει τα έσοδα από τον όγκο των πωλήσεων, παρότι αυτό δεν είναι αποτέλεσμα του συγκεκριμένου τύπου ρύθμισης. Στα πλαίσια του μηχανισμού ρύθμισης, το επίπεδο επιτρεπτής τιμής πώλησης διαφέρει ανάλογα με τον όγκο των πωλήσεων. Όσο μεγαλύτερος ο όγκος των πωλήσεων τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η τιμή πώλησης, ώστε να ικανοποιηθεί ο περιορισμός εσόδων. Αυτό μειώνει το κίνητρο μεγιστοποίησης των πωλήσεων και αυξάνει το κίνητρο προώθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας.

7.5.6.2 Μηχανισμοί χρηματοδότησης

Οι μηχανισμοί χρηματοδότησης είναι μηχανισμοί που παρέχουν χρηματοδότηση στους υπόλοιπους μηχανισμούς και είναι οι εξής [93]:

➤ Χρέωση Κοινής Ωφέλειας για Ενεργειακή Αποδοτικότητα:

Ο μηχανισμός αυτός είναι μια μέθοδος εξασφάλισης χρηματικών πόρων από τη λειτουργία της ηλεκτρικής βιομηχανίας, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε δραστηριότητες ενεργειακής αποδοτικότητας και Διαχείρισης Ζήτησης. Οι πόροι αυτοί εξασφαλίζονται με την επιβολή χρέωσης ή φόρου σε συγκεκριμένους συμμετέχοντες της ενεργειακής αγοράς. Το κεφάλαιο το οποίο συλλέγεται μπορεί να αξιοποιηθεί για την υλοποίηση προγραμμάτων από νέους οργανισμούς ή να βοηθήσει τη διατήρηση ήδη υπαρχόντων προγραμμάτων.

Οι χρεώσεις αυτές μπορούν να διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση ανάλογα με:

- Το στόχο αξιοποίησης του κεφαλαίου που θα χρησιμοποιηθεί, π.χ. παίζει σημαντικό ρόλο το αν το κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθεί για προγράμματα ενημέρωσης ή επιδοτήσεις εξοπλισμού.
- Τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται.
- Το πεδίο της χρέωσης, δηλαδή ποιος χρεώνεται και κατά πόσο, π.χ. αν στόχος είναι η διατήρηση ενός ήδη υπάρχοντος προγράμματος, ο μηχανισμός θα χρεώσει προφανώς τους πελάτες που συμμετέχουν στο συγκεκριμένο πρόγραμμα.
- Την αρχή που διαχειρίζεται το κεφάλαιο.
- Τη διάρκεια της χρέωσης.

➤ Χρηματοδότηση Ενεργειακής Αποδοτικότητας από Επιχειρήσεις Ηλεκτρισμού:

Ο μηχανισμός αυτός επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του ρόλου που οι εταιρίες ηλεκτρισμού μπορούν να διαδραματίσουν όσον αφορά στο συνδυασμό χρηματοδοτικών υπηρεσιών αλλά και υπηρεσιών ενεργειακής αποδοτικότητας για τους πελάτες τους, ειδικά σαν μέσο ανάπτυξης νέων επιχειρησιακών ευκαιριών.

Ο μηχανισμός χρηματοδότησης ενεργειακής αποδοτικότητας από επιχειρήσεις έχει σαν αποτέλεσμα οι πελάτες να πληρώνουν μόνοι τους για ενεργειακή αποδοτικότητα και όχι να επωφελούνται επιδοτήσεων ή εκπτώσεων από το κράτος και τις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας τελικής κατανάλωσης κάνουν απόσβεση του κόστους τους με το χρόνο και οι καταναλωτές τελικώς συνειδητοποιούν τα οικονομικά οφέλη από τέτοια προγράμματα. Στη βάση αυτή, τα προγράμματα θα πρέπει να χρηματοδοτούνται από τους καταναλωτές που πρόκειται να καρπωθούν τα μακροπρόθεσμα οφέλη.

Η χρηματοδότηση μπορεί να γίνει άμεσα από κινητοποιημένους καταναλωτές μέσω τραπεζών ή χρηματοδοτικών εταιριών με τιμές επιτοκίων ανάλογες προς το συγκεκριμένο ρίσκο του κάθε καταναλωτή. Παρόλα αυτά, οι υψηλές αρχικές απαιτήσεις κεφαλαίου και οι μεγάλες περίοδοι αποπληρωμής που φτάνουν τους αρκετούς μήνες συχνά μειώνουν το κίνητρο των καταναλωτών για επενδύσεις. Η έλλειψη αυτή κινήτρου παρέχει στις εταιρίες ηλεκτρισμού την ευκαιρία να σχεδιάσουν ένα χρηματοδοτικό πρόγραμμα για την αγορά, ώστε να αποφευχθούν τα παραπάνω εμπόδια.

Σε μια ανταγωνιστική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ο συνδυασμός χρηματοδότησης και παροχής ενεργειακών υπηρεσιών είναι ένα ελκυστικό μέσο που μπορεί να βοηθήσει μια εταιρία να διατηρήσει τους ήδη υπάρχοντες πελάτες της, αλλά και να αυξήσει τη βάση πελατών της. Υπάρχει μια πληθώρα πιθανών σχεδίων που εμπεριέχουν χρηματοδότηση δραστηριοτήτων ενεργειακής αποδοτικότητας από εταιρίες ηλεκτρισμού, από απλούς διακανονισμούς που αφορούν την περίοδο αποπληρωμής από τους πελάτες για το κόστος των αποδοτικών συσκευών χωρίς επιτόκιο, μέχρι και σύνθετα χρηματοδοτικά πακέτα με πληθώρα επιλογών.

7.5.6.3 Μηχανισμοί στήριξης

Οι μηχανισμοί στήριξης είναι οι μηχανισμοί που περιλαμβάνουν στήριξη για αλλαγές στη συμπεριφορά τόσο των τελικών καταναλωτών όσο και των ενεργειακών επιχειρήσεων και είναι οι ακόλουθοι [93]:

➤ Εκπαιδευτικά Προγράμματα Βιώσιμης Ενέργειας:

Τα προγράμματα αυτά έχουν ως στόχο να βελτιώσουν την ικανότητα των εκπαιδευόμενων να επιτυγχάνουν αποτελέσματα βιώσιμης ενέργειας, ενώ είναι περισσότερο επαγγελματικά προσανατολισμένα σε σχέση με τα ενημερωτικά προγράμματα που στοχεύουν σε τελικούς καταναλωτές ενέργειας. Μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να εφοδιάσουν τους επαγγελματίες αλλά και εμπόρους που συμμετέχουν στη βιομηχανία ενέργειας με γνώση για τη βιώσιμη ενέργεια. Επικεντρώνονται κυρίως στην παροχή πληροφοριών και οδηγιών σε ανθρώπους, των οποίων τα επαγγέλματα επηρεάζουν τη χρήση ενέργειας σε επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Τα εκπαιδευτικά αυτά προγράμματα συνήθως διεξάγονται από κυβερνητικά σώματα ή ενεργειακά κέντρα και περιλαμβάνουν δύο είδη πληροφόρησης. Από τη μία πλευρά, παρέχουν θεωρητικές πληροφορίες σε σχέση με την κλιματική αλλαγή και από την άλλη, δίνουν πρακτικό υλικό για συγκεκριμένες λύσεις βιώσιμης ενέργειας, που μπορούν να προταθούν από τους συμμετέχοντες στους πελάτες τους.

➤ Κέντρα Ενέργειας:

Ο μηχανισμός αυτός αφορά την εγκαθίδρυση οργανισμών με μοναδικό σκοπό την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και των προγραμμάτων Διαχείρισης της Ζήτησης. Οι οργανισμοί αυτοί λειτουργούν ανεξάρτητα από τις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά μπορούν να συνδέονται με τις εταιρίες αυτές με διάφορους τρόπους. Συγκεκριμένα, οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να θεωρήσουν τη συνεργασία με κέντρα ενέργειας ή ακόμα και την καθιέρωση ενός εξολοκλήρου δικού τους κέντρου ενέργειας μια πολύ σημαντική επιχειρηματική κίνηση.

Τα κέντρα ενέργειας μπορούν να αναλάβουν ένα μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων ενεργειακής αποδοτικότητας, να αποτελούν κρατικούς ή ιδιωτικούς οργανισμούς, να αποδεσμευτούν από την πραγματοποίηση προγραμμάτων ή και να αναλάβουν τα ίδια κάποιες δραστηριότητες. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται από τις επιρροές του ανταγωνισμού αλλά και της νομοθεσίας.

Σε γενικές γραμμές, οι δραστηριότητες ενός κέντρου ενέργειας αναφέρονται σε γενικές ενημερώσεις σχετικά με ενεργειακά θέματα αλλά και εξοπλισμό, πραγματοποίηση ενεργειακών επιθεωρήσεων, δημιουργία συνδέσμων μεταξύ εμπορικών και βιομηχανικών εταιριών, δημιουργία εκπαιδευτικών σεμιναρίων, έρευνα, συλλογή και παροχή στοιχείων ενεργειακής αποδοτικότητας σε συνεργασία με άλλους διεθνείς οργανισμούς.

➤ Δημιουργία Επιχειρηματικών Οργανισμών Ενέργειας:

Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει τη δημιουργία οργανισμών από το κράτος με καθαρές ευθύνες και αρμοδιότητες στην επίτευξη αποτελεσμάτων ενεργειακής αποδοτικότητας. Οι οργανισμοί αυτοί διακρίνονται από τα κέντρα ενέργειας, γιατί οι στόχοι τους είναι περισσότερο εμπορικοί και επίσης στοχεύουν στο να γίνουν αυτοχρηματοδοτούμενοι σε βάθος χρόνου. Οι οργανισμοί αυτοί παρέχουν μια άμυνα ενάντια στο ρίσκο ορισμένων αβεβαιοτήτων που προκύπτουν από την αναδιάρθρωση της βιομηχανίας ενέργειας και απειλούν με σημαντικές μειώσεις των παραδοσιακών προγραμμάτων ενεργειακής αποδοτικότητας που λαμβάνουν χώρα από το κράτος και τις εταιρίες του ενεργειακού τομέα.

Οι επιχειρηματικοί οργανισμοί ενέργειας επικεντρώνονται στο μετασχηματισμό της αγοράς και στοχεύουν στο να αυξήσουν την εμπορευματοποίηση και τη διάδοση των ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και της ανανεώσιμης ενέργειας σε όλους τους τομείς της κοινωνίας. Τέτοιοι οργανισμοί συχνά θα πραγματοποιήσουν και παραδοσιακές δραστηριότητες, όπως διάδοση πληροφορίας και συστημάτων ετικετών, κυρίως όμως θα δώσουν έμφαση στην καθιέρωση της προώθησης της ενεργειακής αποδοτικότητας ως μία εμπορικά βιώσιμη αυτοχρηματοδοτούμενη δραστηριότητα.

➤ Ανάπτυξη της Βιομηχανίας Εταιρειών Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών (ΕΠΕΥ):

Ο μηχανισμός αυτός εμπεριέχει την κρατική ενθάρρυνση και προώθηση της ανάπτυξης ενός σύνθετου τομέα ενεργειακών υπηρεσιών, ο οποίος θα είναι εστιασμένος εμπορικά και ανεξάρτητος της νομοθεσίας για την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρίες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών στα πλαίσια του τομέα αυτού θα παρέχουν ενεργειακές υπηρεσίες σε ένα μεγάλο εύρος πελατών. Οι ΕΠΕΥ μπορούν να ιδρυθούν παράλληλα με τις εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας, ή ακόμα και να λειτουργούν σαν ξεχωριστές μονάδες μέσα στα πλαίσια κάποιας εταιρίας.

Οι ΕΠΕΥ είναι συνήθως ιδιωτικές εταιρίες που προσφέρουν ένα ευρύ πακέτο υπηρεσιών για να βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα της λειτουργίας των μεγάλων καταναλωτών, εξοικονομώντας ταυτόχρονα ενέργεια αλλά και χρήματα, ενώ μπορούν να συνεργάζονται ή και όχι με προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πελάτες των ΕΠΕΥ ανήκουν συνήθως στο βιομηχανικό, εμπορικό ή κρατικό τομέα.

Ο κυριότερος μηχανισμός επιχειρηματικής δραστηριότητας των ΕΠΕΥ είναι οι συμβάσεις απόδοσης, που λειτουργούν σαν ένας οικονομικός μηχανισμός προώθησης των υπηρεσιών τους. Οι συμβάσεις απόδοσης εγγυώνται ότι οι ΕΠΕΥ θα πετύχουν συγκεκριμένες ενεργειακές εξοικονομήσεις μέσω ενός βελτιωτικού προγράμματος και θα λάβουν πληρωμή από τις εξοικονομήσεις αυτές. Αυτός, βέβαια, δεν είναι ο μοναδικός μηχανισμός λειτουργίας των ΕΠΕΥ. Υπάρχουν και άμεσες συμφωνίες που μπορούν να διαπραγματευτούν με τους πελάτες τους, στην περίπτωση που οι ίδιοι οι πελάτες επιλέγουν να πληρώσουν για τις βελτιώσεις ενεργειακής απόδοσης εκ των προτέρων.

Τα κυριότερα εμπόδια στη δημιουργία ενός τέτοιου τομέα ενεργειακών υπηρεσιών με ΕΠΕΥ είναι κυρίως η έλλειψη ενδιαφέροντος από πλευράς καταναλωτών σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα, οι χαμηλές τιμές ενέργειας που επικρατούν στον ανταγωνισμό, η έλλειψη κεφαλαίου, η αβεβαιότητα σχετικά με μελλοντικές ανασταλτικές κρατικές αποφάσεις που αφορούν τις συμβάσεις απόδοσης, αλλά και το γεγονός ότι τα κέρδη των ΕΠΕΥ στον οικιακό και μικρό βιομηχανικό τομέα είναι πολύ μικρά.

➤ Προώθηση Ενεργειακής Αποδοτικότητας από Βιομηχανικούς Συλλόγους:

Ο μηχανισμός αυτός αναφέρεται σε βιομηχανικούς συλλόγους που προωθούν υπηρεσίες ενεργειακής αποδοτικότητας στα μέλη τους. Επίσης, ένας τέτοιος σύλλογος μπορεί να προσφέρει στα μέλη του πρόσβαση και συμμετοχή στις υπηρεσίες αυτές, που από μόνα τους δεν θα μπορούσαν να αποκτήσουν.

Οι βιομηχανικοί σύλλογοι είναι επίσημες συνενώσεις επιχειρήσεων, που μπορεί να είναι ανταγωνιστές στην αγορά. Είναι, όμως, συνεργάτες στα πλαίσια του συλλόγου. Οι υπηρεσίες που ένας τέτοιος σύλλογος παρέχει στα μέλη του είναι η παροχή πληροφοριών σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα, συμβουλές πάνω σε τεχνικά θέματα αλλά και στην αγορά υπηρεσιών ενεργειακής αποδοτικότητας, κατασκευή και διατήρηση μιας λεπτομερούς βάσης δεδομένων με όλα τα προγράμματα ενεργειακής αποδοτικότητας που έχουν πραγματοποιηθεί από τα μέλη του, αλλά και προώθηση εθνικής όπως και διεθνούς ανταλλαγής πληροφοριών για ενεργειακά θέματα.

➤ Συγκεντρωτικές Αγορές Ποσοτήτων Ηλεκτρικής Ενέργειας:

Ο μηχανισμός αυτός δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να συμμετέχουν, μέσω των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, στο χειρισμό συμφωνημένης ενέργειας στις ανταγωνιστικές αγορές. Αυτό μπορεί να αποδώσει στις απομακρυσμένες κοινωνίες που έχουν μία ισχυρή περιβαλλοντική συνείδηση ή ακόμα μέσω οργανισμών των πολιτών στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Οι διακανονισμοί συγκέντρωσης ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές:

- Η τοπική κυβέρνηση αναλαμβάνει εθελοντικά την ευθύνη αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με υπηρεσίες ενεργειακής αποδοτικότητας εκ μέρους των μελών της.
- Τα νοικοκυριά από μόνα τους διαμορφώνουν ένα σύλλογο αγοραστών για να διαπραγματευτούν την αγορά.
- Ιδιωτικές εταιρίες αναλαμβάνουν το ρόλο του συντονιστή και αντιπροσώπου των καταναλωτών.
- Συνδυασμός των παραπάνω μορφών, δηλαδή συνεργασία μη κερδοσκοπικών οργανισμών με τις τοπικές κυβερνήσεις, αλλά και ιδιώτες.

➤ Εθελοντικές Συμφωνίες για Ενεργειακή Αποδοτικότητα:

Ο μηχανισμός αυτός έχει να κάνει με μια επίσημη συμφωνία που πραγματοποιείται μεταξύ ενός κρατικού σώματος και μιας επιχείρησης ή οργανισμού. Με τη συμφωνία αυτή, η επιχείρηση ή ο οργανισμός δηλώνει ότι θα διεξάγει συγκεκριμένες δραστηριότητες για να αυξήσει την αποδοτικότητα με την οποία χρησιμοποιεί ενέργεια.

Μια τέτοια συμφωνία θέτει, λοιπόν, στόχους αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας μέσα στα πλαίσια του οργανισμού ή της επιχείρησης. Οι στόχοι αυτοί καθορίζονται από τους συμμετέχοντες οργανισμούς ή επιχειρήσεις, ενώ το κρατικό σώμα παρέχει πληροφορίες και περιορισμένη κρατική βοήθεια για να βοηθήσει στην επίτευξή τους. Ένα πρόγραμμα εθελοντικής συμφωνίας μπορεί να θέσει στόχους σε εταιρίες κάποιου συγκεκριμένου τομέα (π.χ. βιομηχανικό), ή και να αναφέρεται σε ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος, όπως όλες τις επιχειρήσεις και οργανισμούς του εμπορικού τομέα που χρησιμοποιούν ενέργεια.

Κάποια παραδείγματα στόχων αποδοτικότητας που μπορεί να ορίζονται σε τέτοιες συμφωνίες είναι η αύξηση αποδοτικότητας του υπάρχοντος εργοστασίου της επιχείρησης, η μείωση των ενεργειακών απωλειών, η βελτίωση αποδοτικότητας των συσκευών, η εφαρμογή διαχείρισης φορτίου και ανακύκλωσης.

7.5.6.4 Μηχανισμοί αγοράς

Οι μηχανισμοί αγοράς είναι οι μηχανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν δυνάμεις της αγοράς για να ενθαρρύνουν αλλαγές συμπεριφοράς στους τελικούς καταναλωτές και είναι οι εξής [93]:

➤ Φόροι Ενέργειας:

Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και κοινωνικά κόστη. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που δεν αντανakλώνται στις τιμές της αγοράς, αναφέρονται ως περιβαλλοντικές εξωτερικότητες. Από την πλευρά της οικονομικής αποδοτικότητας, το κόστος των εξωτερικοτήτων αυτών και η συγχώνευσή τους σε δομές χρεώσεων οδηγεί σε μια καλύτερη κατανομή των οικονομικών πόρων και σε μια βελτίωση της συνολικής κοινωνικής ευημερίας. Παρόλα αυτά, οι κυβερνήσεις θεωρούν ότι οι τιμές ενέργειας, που αντανakλούν τα παραπάνω κόστη, δεν είναι εύκολο να υπολογιστούν. Επίσης,

η τιμή δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά των συμμετεχόντων στην ενεργειακή αγορά.

Οι ενεργειακοί φόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προκαλέσουν κάποιο οικονομικό κόστος στις περιβαλλοντικές εξωτερικότητες, αυξάνοντας την τιμή της ενέργειας για τον τελικό καταναλωτή. Σε γενικές γραμμές, η άμεση επίδραση ενός φόρου στην κατανάλωση ενέργειας θα εξαρτηθεί από τις αυξήσεις των τιμών που πραγματοποιούνται, αλλά και την ελαστικότητα της τιμής και της ζήτησης μεταξύ των διάφορων ομάδων καταναλωτών.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενεργειακών φόρων ανάλογα με τον τρόπο που αυτοί επιβάλλονται. Ο αύξων φόρος αυξάνει την τιμή ανά μονάδα ενέργειας όσο το επίπεδο της ενεργειακής κατανάλωσης των τελικών καταναλωτών αυξάνει. Ο φόρος που δεν επηρεάζεται από την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης ονομάζεται σταθερός, ενώ υπάρχει και ο φθίνων φόρος που μειώνεται με την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης.

➤ Απαλλαγές Φόρων και Κίνητρα για Ενεργειακή Αποδοτικότητα:

Από την πλευρά του κράτους, η φορολογική πολιτική θα πρέπει να αντανakλά και ευρύτερους στόχους δημοσίου ενδιαφέροντος εκτός από αύξηση εσόδων. Στις περιπτώσεις που η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας θεωρείται ανεπιθύμητη, το φορολογικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επηρεάσει τους τελικούς καταναλωτές ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιούν την ενέργεια περισσότερο αποδοτικά. Επίσης, επενδύσεις ή συμπεριφορά που μειώνουν την υπερμετρητή χρήση ενέργειας μπορούν να επιβραβεύονται μέσω κινήτρων που παρέχει το φορολογικό σύστημα.

Η χρησιμοποίηση του φορολογικού συστήματος για ενθάρρυνση της ενεργειακής αποδοτικότητας έγκειται σε μια μείωση φόρου που λαμβάνουν όλοι όσοι επενδύουν χρήματα ή διεξάγουν δραστηριότητες που στοχεύουν σε ενεργειακές εξοικονομήσεις.

Όσον αφορά στα κίνητρα που μπορούν να δοθούν μέσω του φορολογικού συστήματος, αυτά είναι η μείωση φόρου για την αγορά αποδοτικού εξοπλισμού, φοροαπαλλαγή για την κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, απαλλαγή φόρου στο κέρδος που προκύπτει από «πράσινες επενδύσεις», κ.ά.

➤ Πληροφορίες Ενεργειακής Κατανάλωσης στους Λογαριασμούς Πελατών:

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους οι καταναλωτές μπορούν να δεχθούν πληροφορίες αξιολόγησης από τους τροφοδότες τους σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που κάνουν. Η πληροφόρηση αυτή μπορεί να ενισχύσει την καθημερινή ενεργειακή διαχείριση του πελάτη, αλλά και να επηρεάσει αποφάσεις επενδύσεων σε αποδοτικές συσκευές.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να επιτευχθούν τα παραπάνω. Ο ένας τρόπος είναι οι πληροφορίες πραγματικού χρόνου που μπορούν να δώσουν κατάλληλοι μετρητές εγκατεστημένοι σε σπίτια ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο δεύτερος τρόπος είναι οι πληροφορίες να παρέχονται μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος των καταναλωτών.

Σε γενικές γραμμές, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σχετικά με την παροχή πληροφοριών αξιολόγησης είναι τα ακόλουθα:

- Συχνότητα πληροφορίας: μελέτες έχουν δείξει ότι μικρές περιόδους αξιολόγησης δίνουν περισσότερο κατανοητά αποτελέσματα.
- Μέσο πληροφόρησης: η πληροφόρηση είναι περισσότερο αποδοτική όταν παρέχεται μαζί με κάποιο έγγραφο που κάποιος πρέπει να διαβάσει, γι' αυτό και οι λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος είναι κατάλληλοι.
- Παρουσίαση της πληροφορίας: η πληροφορία πρέπει να παρέχεται στον καταναλωτή σε μορφή κατανοητή, για παράδειγμα η μετάφραση της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε οικονομικά μεγέθη είναι ιδιαίτερα αποδοτική.
- Συγκριτικό περιεχόμενο: ιδιαίτερα αποδοτικές είναι οι συγκρίσεις των δεδομένων με τα αντίστοιχα προηγούμενων περιόδων.

➤ Μεταβίβαση Χρεώσεων και Πληροφοριών Ενεργειακής Αποδοτικότητας:

Ο μηχανισμός αυτός κινητοποιεί τους πελάτες να αλλάξουν τη συμπεριφορά ενεργειακής τους κατανάλωσης μέσω της μετάδοσης ισχυρών χρεωστικών κινήτρων από

τους πωλητές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και πληροφόρησης για αλλαγή συμπεριφοράς. Δύο είναι τα βασικά στοιχεία του μηχανισμού αυτού: α) η επικοινωνία μεταξύ της εταιρίας εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας και των πελατών της και β) η πληροφόρηση που μεταδίδεται.

Μια κοινή προσέγγιση για τους πωλητές είναι η εφαρμογή μιας δομής δυναμικών χρεώσεων. Μια άλλη δυνατότητα είναι η μετάδοση μεταβολών τιμών σε πραγματικό χρόνο και η χρησιμοποίηση μέσων πληροφορίας για την παροχή πληροφόρησης στον πελάτη. Όλα αυτά έχουν να κάνουν με την προσπάθεια ανάπτυξης μιας επικοινωνιακής σχέσης μεταξύ εταιρίας και πελάτη, πέρα από την απλή παροχή ενός λογαριασμού.

➤ Ετικέτες Ενεργειακής Απόδοσης:

Τα προγράμματα ετικετών ενεργειακής απόδοσης για συσκευές εμπεριέχουν την επικόλληση μικρών και ευανάγνωστων ενημερωτικών ετικετών σε συσκευές, έτσι ώστε οι πελάτες να μπορούν να διαβάσουν σχετικά με την ενεργειακή τους απόδοση τη στιγμή της αγοράς. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ετικετών:

- α. Ετικέτες προσυπογραφής, οι οποίες παρέχουν κάποια βεβαίωση ότι το προϊόν τηρεί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές ενεργειακής αποδοτικότητας.
- β. Συγκριτικές ετικέτες, οι οποίες περιέχουν συγκριτικές πληροφορίες απόδοσης της συσκευής σε σχέση με άλλες.

Στόχος αυτού του συστήματος ετικετών είναι να επηρεάσει τους καταναλωτές ώστε να αγοράσει και να χρησιμοποιήσει ενεργειακά αποδοτικές συσκευές, αλλά και να δημιουργήσει κάποιο είδος πίεσης στους παραγωγούς συγκεκριμένου εξοπλισμού, ώστε να βελτιστοποιήσουν την αποδοτικότητα των προϊόντων που προσφέρουν.

➤ Δημιουργία σήμανσης ενεργειακής αποδοτικότητας:

Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει αυξημένη πληροφόρηση σχετικά με προϊόντα και υπηρεσίες ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω διαφημιστικών εκστρατειών που επικεντρώνονται στη σήμανση συγκεκριμένων προϊόντων. Η σήμανση αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη μιας καθαρά αναγνωρίσιμης εικόνας ή ετικέτας που θα εφαρμόζεται σε όλα τα κατάλληλα προϊόντα.

Κάποια σημαντικά ζητήματα που αφορούν τη σήμανση ενεργειακής αποδοτικότητας είναι τα παρακάτω:

- α. Το πεδίο του προγράμματος σήμανσης, δηλαδή ποια προϊόντα και υπηρεσίες θα περιλαμβάνει.
- β. Η ομάδα-στόχος του προγράμματος.
- γ. Το μήνυμα που μεταδίδεται, το οποίο θα μπορούσε να αναφέρεται για παράδειγμα στην εξοικονόμηση χρημάτων ή την προστασία του περιβάλλοντος.
- δ. Το σχέδιο της ετικέτας ή της εικόνας σήμανσης.
- ε. Η διαδικασία διαπίστευσης, δηλαδή τα προϊόντα πρέπει να περάσουν από μια διαδικασία επικύρωσης πριν χρησιμοποιηθούν στην εκστρατεία.

➤ Συνεργατική Προμήθεια Ενεργειακά Αποδοτικών Συσκευών και Εξοπλισμού:

Στο μηχανισμό αυτό, οι καταναλωτές που αγοράζουν μεγάλες ποσότητες ενεργοβόρων συσκευών και εξοπλισμού συνεργάζονται για να ορίσουν τις απαιτήσεις τους, ζητούν προτάσεις από τους παραγωγούς και τους τροφοδότες του εξοπλισμού, αξιολογούν τα αποτελέσματα και τέλος, αγοράζουν τα προϊόντα. Οι απαιτήσεις των αγοραστών μπορούν να σχετίζονται με εξειδικεύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας των προϊόντων.

Το πρώτο βήμα για μια κρατική εταιρία, επιχείρηση ηλεκτρισμού ή άλλο οργανισμό που θέλει να εισηγηθεί μια διαδικασία συνεργατικής προμήθειας είναι να συγκεντρώσει τις ομάδες καταναλωτών που είναι πιθανό να ενδιαφέρονται για την αγορά μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων ενεργειακής αποδοτικότητας. Οι ομάδες αυτές καλούνται να σχηματίσουν έναν όμιλο, γνωστός ως ομάδα αγοραστών. Τα μέλη της ομάδας αυτής θα πρέπει να συνεργάζονται στενά για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναπόφευκτα θα προκύψουν σε ένα πρόγραμμα ανάπτυξης τεχνολογίας.

➤ Σύμβαση Ενεργειακής Απόδοσης:

Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει έναν ανάδοχο, συνήθως μια ΕΠΕΥ, ο οποίος εγγυάται ενεργειακές εξοικονομήσεις για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, διεξάγει τις

κατάλληλες βελτιώσεις ενεργειακής αποδοτικότητας και λαμβάνει πληρωμή από τις μειώσεις κόστους που συνεπάγονται οι ενεργειακές εξοικονομήσεις.

Με την αυξανόμενη πίεση που ασκείται στους δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς να μειώσουν τα λειτουργικά τους κόστη και να αυξήσουν την παραγωγικότητα, ο μηχανισμός σύμβασης απόδοσης προσφέρει έναν αποτελεσματικό τρόπο μείωσης τόσο των λειτουργικών δαπανών όσο και της κατανάλωσης πόρων, ειδικά σε μια ανταγωνιστική αγορά. Η σύμβαση απόδοσης λειτουργεί στη βάση, δηλαδή η εγκατάσταση περισσότερου αποδοτικού εξοπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα ενεργειακές εξοικονομήσεις και μειωμένα λειτουργικά κόστη. Οι εξοικονομήσεις κόστους χρησιμοποιούνται αργότερα για να χρηματοδοτήσουν τις κεφαλαιουχικές αναβαθμίσεις του εξοπλισμού. Η σύμβαση περιλαμβάνει επίσης μια εγγύηση απόδοσης, που σημαίνει ότι αναλαμβάνει το ρίσκο του προγράμματος.

Συνήθεις πελάτες συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή εγκαταστάσεις παραγωγής, σχολεία, πανεπιστήμια, νοσοκομεία και κυβερνητικοί οργανισμοί. Τα οφέλη των πελατών έχουν να κάνουν με εξοικονομήσεις κεφαλαίου, απ' τη στιγμή που δεν χρειάζεται να επενδύσουν οι ίδιοι σε βελτιώσεις ενεργειακής αποδοτικότητας, ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διακοπής ή ανεπάρκειας του εξοπλισμού και μειωμένα περιβαλλοντικά κόστη.

➤ Ανταγωνιστική Πρόσβαση σε Ενεργειακές Υπηρεσίες:

Στο μηχανισμό αυτό, οι συμμετέχοντες συγκεκριμενοποιούν τις απαιτήσεις τους για ενεργειακές υπηρεσίες σε διάφορους προμηθευτές, όπως είναι οι εταιρίες ηλεκτρισμού και οι ΕΠΕΥ. Οι απαντήσεις σε αυτές αξιολογούνται σε μια ανταγωνιστική βάση και επιτυγχάνονται εμπορικές συμφωνίες με τις επιλεγείσες εταιρίες.

Οι συμμετέχοντες μπορεί να είναι διάφοροι τελικοί καταναλωτές ή ομάδες προσώπων με κοινά συμφέροντα, όπως είναι μια τοπική κυβέρνηση που αναζητά μείωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας και μεγαλύτερο ποσοστό ανανεώσιμων στην παραγωγή, οργανισμοί όπως νοσοκομεία που επιθυμούν να αυξήσουν την αξιοπιστία τροφοδότησης ή μια αλυσίδα καταστημάτων λιανικής που θέλουν να ελαχιστοποιήσουν τον αριθμό των τροφοδοτών τους.

Σε γενικές γραμμές, μια διαδικασία ανταγωνιστικής πρόσβασης περιλαμβάνει την προετοιμασία του προσδιορισμού των απαιτήσεων που διεξάγεται από το συμμετέχοντα ή έναν ανάδοχο, την απάντηση από τους παρόχους ενεργειακών υπηρεσιών, την εκτίμηση των απαντήσεων, τη σύναψη συμβολαίων, την εφαρμογή των ενεργειακών υπηρεσιών και τέλος, την παρακολούθηση και την εκτίμηση της διαδικασίας με βάση κάποια κριτήρια.

Η ανταγωνιστική πρόσβαση σε ενεργειακές υπηρεσίες είναι ελκυστική σε πιθανούς αγοραστές, αν καταλήγει σε μια λύση χαμηλότερου κόστους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των αγοραστών. Παρόλα αυτά, το σημαντικότερο εμπόδιο στην εφαρμογή του μηχανισμού αυτού είναι η έλλειψη γνώσης και εμπειρίας από μέρους των αγοραστών.

➤ Ανταγωνιστική Πρόσβαση σε Πόρους Ζήτησης:

Στα πλαίσια του μηχανισμού αυτού οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζουν τις αξιώσεις τους για Διαχείριση Ζήτησης και ενεργειακής αποδοτικότητας σε μια δημόσια αίτηση προτάσεων (Request of Proposals). Οι απαντήσεις σε αυτήν την αίτηση προτάσεων αξιολογούνται σε μια ανταγωνιστική βάση και υπογράφονται συμβάσεις με τις επιλεγείσες ομάδες που βρίσκονται στην αναζήτηση πόρων.

Αυτοί που αναζητούν πόρους από την πλευρά της ζήτησης είναι συνήθως εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αυτοί που ανταποκρίνονται και απαντούν στις απαιτήσεις τους είναι ενεργειακά κέντρα ή ΕΠΕΥ.

Η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί σε μια καθαρά εμπορική βάση, ώστε να επιλεγθούν οι περισσότερο οικονομικά αποδοτικές επιλογές ζήτησης, πιθανόν σε πλήρη ανταγωνισμό με τις επιλογές από την πλευρά της παραγωγής.

7.5.7 Βήματα για την ενσωμάτωση του DSM

Η ενσωμάτωση του DSM για να είναι επιτυχής προϋποθέτει επαρκής πληροφορίες για το κόστος, τις απαιτήσεις του εξοπλισμού, τις διαδικασίες των προγραμμάτων, τα

χαρακτηριστικά και τις ανάγκες των καταναλωτών και τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Στο Διάγραμμα 7.8 παρουσιάζονται τα βήματα που απαιτούνται για την ενσωμάτωση του DSM. Η διαδικασία αποτελείται από τα εξής βήματα [94]:

➤ Βήμα 1^ο - Έρευνα φορτίου:

Το 1^ο στάδιο περιλαμβάνει την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της καμπύλης φορτίου κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση περιόδου (ημερήσια, εβδομαδιαία, εποχιακή, ετήσια, κ.λπ.). Η έρευνα στοχεύει στην αποτίμηση της συνεισφοράς του κάθε τομέα (οικιακός, βιομηχανικός, κ.λπ.) στη συνολική καμπύλη φορτίου. Εξετάζονται θέματα όπως ο αριθμός των καταναλωτών της κάθε κατηγορίας, η κατηγοριοποίησή τους βάσει διάφορων κριτηρίων (επίπεδο τάσης, συμφωνημένη ισχύς, συντελεστής ισχύος, εμπορικοί κώδικες δραστηριότητας, κ.λπ.), τα χαρακτηριστικά των διάφορων φορτίων (φωτισμός, ηλεκτρική έλξη, ψύξη και θέρμανση, κ.λπ.) καθώς και άλλοι παράγοντες.

➤ Βήμα 2^ο - Καθορισμός της καμπύλης φορτίου:

Το 2^ο στάδιο περιλαμβάνει την εξαγωγή της επιθυμητής μορφής της καμπύλης φορτίου.

➤ Βήμα 3^ο - Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης του προγράμματος:

Το 3^ο στάδιο επικεντρώνεται στην αναγνώριση των φορτίων που συνεισφέρουν περισσότερο στην αιχμή της καμπύλης, έτσι ώστε οι ανάλογες δράσεις να στοχεύουν στα αντίστοιχα φορτία. Εκτός από αυτό, το στάδιο αυτό περιλαμβάνει μία διευρυμένη ανάλυση κόστους-οφελών για την αποτίμηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών οφελών.

➤ Βήμα 4^ο - Ενσωμάτωση του προγράμματος:

Το 4^ο στάδιο αναφέρεται στην ενσωμάτωση του προγράμματος η οποία πραγματοποιείται με την προώθησή του (π.χ. εκστρατείες ενημέρωσης, διαφήμιση, κ.λπ.) στους στοχευόμενους καταναλωτές.

➤ Βήμα 5^ο - Επιτήρηση και αξιολόγηση:

Στο τελευταίο στάδιο διεξάγεται μία ανάλυση προκειμένου να πραγματοποιηθεί σύγκριση των στόχων που έχει θέσει ο φορέας σχεδιασμού του προγράμματος με τα υπάρχοντα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα. Η ανάλυση περιλαμβάνει την ενδεχόμενη μείωση του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και τη μείωση της χρέωσης των καταναλωτών.



Διάγραμμα 7.8: Διαδικασία ενσωμάτωσης του DSM

7.5.8 Τεχνικές και προγράμματα του DSM που έχουν εφαρμοστεί

7.5.8.1 Τεχνικές του DSM

Η έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης δεν είναι καινούργια και για την εφαρμογή της έχουν αναπτυχθεί βασικές τεχνολογίες. Κάποιες από τις κυριότερες τεχνικές που έχουν ήδη εφαρμοστεί αναφέρονται παρακάτω [89]:

➤ Νυχτερινή ηλεκτρική θέρμανση:

Δεδομένου ότι οι σταθμοί βάσης έχουν χαμηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η νυχτερινή ηλεκτρική θέρμανση έχει εφαρμοστεί σε πολλές χώρες. Η τεχνική αυτή επιτυγχάνει μια πιο ισορροπημένη χρήση του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς το αυξημένο φορτίο της ηλεκτρικής θέρμανσης μετατοπίζεται σε ώρες χαμηλής ζήτησης.

- Άμεσος έλεγχος φορτίου:
Οικιακά προγράμματα για άμεσο έλεγχο φορτίων εφαρμόζονται σε συσκευές που μπορούν να σταματούν τη λειτουργία τους σε σύντομο χρονικό διάστημα, όπως είναι τα κλιματιστικά, οι θερμοσίφωνες και οι αντλίες σε πισίνες. Απαραίτητη είναι η επικοινωνία μεταξύ της εταιρίας παροχής, του διαχειριστή του συστήματος και του καταναλωτή. Γι' αυτό γίνεται εγκατάσταση ευφών συστημάτων ανταλλαγής πληροφοριών και ελέγχου. Οι πελάτες που συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα αποζημιώνονται με μειωμένους λογαριασμούς ηλεκτρισμού.
 - Περιοριστές φορτίου:
Οι περιοριστές φορτίου ορίζουν ένα όριο κατανάλωσης σε ατομικούς καταναλωτές. Η τεχνική αυτή δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέξουν ποιες συσκευές θα χρησιμοποιήσουν και ποιες καταναλώσεις θα αναβάλλουν.
 - Εμπορικό/Βιομηχανικά προγράμματα:
Προγράμματα διαχείρισης του μέγιστου φορτίου είναι διαθέσιμα σε μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές. Ιδιαίτερα δημοφιλή είναι τα προγράμματα διακοπόμενου φορτίου για την παροχή υπηρεσιών εφεδρείας και για βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος. Οι συμμετέχοντες προέρχονται από τους κλάδους της διύλισης, των εξορύξεων, των κατασκευών και της επεξεργασίας του νερού. Για τους εμπορικούς καταναλωτές προσφέρονται προγράμματα για έλεγχο του συστήματος εξαερισμού, κλιματισμού και φωτισμού.
 - Ρύθμιση συχνότητας:
Η συχνότητα του συστήματος είναι στο άμεσο μέτρο ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και ζήτησης και πρέπει να διατηρείται συνεχώς στα 50Hz με μικρές αποκλίσεις. Για παράδειγμα, την απώλεια μιας μεγάλης γεννήτριας ακολουθεί σημαντική πτώση της συχνότητας και το σήμα αυτό πυροδοτεί μειώσεις φορτίων που έτσι συνεισφέρουν στη ρύθμιση της συχνότητας. Μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές λαμβάνουν μέρος σε τέτοιες δραστηριότητες.
 - Τιμολόγηση του ηλεκτρισμού ανάλογα με την ώρα:
Οι διακυμάνσεις στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας αντανakλούν το κόστος παραγωγής της, δημιουργώντας κίνητρα για ολίσθηση φορτίου από περιόδους υψηλής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Η τιμολόγηση αυτή είναι κατάλληλη για οικιακούς καταναλωτές.
 - Προγράμματα προσφορών:
Τα προγράμματα αυτά διατίθενται σε καταναλωτές που είναι πρόθυμοι να μειώσουν την κατανάλωσή τους για μια προκαθορισμένη τιμή. Προγραμματίζοντας τους θερμοστάτες επιτυγχάνεται ο έλεγχος των κλιματιστικών και των συστημάτων θέρμανσης. Οι θερμοστάτες μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να υιοθετούν ρυθμίσεις ανάλογα με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας και την εποχή. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ειδοποίηση των ενοίκων για συμμετοχή σε κάποιο γεγονός. Διάφορα προγράμματα που βασίζονται στη χρήση του διαδικτύου εξελίσσονται και επιτρέπουν στον πελάτη να δέχεται πληροφορίες και να αναλαμβάνει ενεργό δράση για διαχείριση του μέγιστου φορτίου.
 - Έξυπνες συσκευές και έξυπνοι μετρητές:
Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών θα πρέπει να συνοδεύεται με τη χρήση έξυπνων συσκευών. Θέτοντας ως στόχο τη διευκόλυνση ενός τέτοιου συστήματος ενέργειας όπου κυριαρχούν οι συνεχείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού οικιακών καταναλωτών, ένα ηλεκτρονικό σύστημα αγοράς ενέργειας υποστηριζόμενο από το διαδίκτυο χρειάζεται να αναπτυχθεί.
- Για την υιοθέτηση των παραπάνω τεχνικών και για συμμετοχή στα προγράμματα Διαχείρισης Ζήτησης θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα που θα κάνουν πιο οικεία την έννοια του DSM. Τα μέτρα αυτά διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες [94]:
- ✓ Προγράμματα ενημέρωσης: Στοχεύουν στην ενημέρωση του κοινού για τα πλεονεκτήματα της ενεργειακής απόδοσης και γενικότερα της Διαχείρισης Ζήτησης. Κάποιοι τρόποι για την επίτευξη της ενημέρωσης είναι οι διαφημιστικές εκστρατείες, τα

σεμινάρια και το διαδίκτυο. Η ενημέρωση είναι απαραίτητο μέτρο για την προώθηση του DSM στα διάφορα είδη καταναλωτών.

- ✓ Προγράμματα τεχνικής υποστήριξης: Παρέχουν στους καταναλωτές ενεργειακές επιθεωρήσεις και καταγράφουν τα τεχνικά εμπόδια που υπάρχουν για την εισαγωγή μεθόδων μεταβολής της ζήτησης.
- ✓ Προγράμματα οικονομικής υποστήριξης: Στοχεύουν στη μείωση του κόστους για την εισαγωγή μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Τα προγράμματα περιέχουν δανειοδοτήσεις και επιδοτήσεις για αγορά ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού. Η προώθηση του ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού είναι βασική προσέγγιση του DSM.
- ✓ Προγράμματα άμεσης παρέμβασης: Πρόκειται για προγράμματα που παρεμβαίνουν στην αγορά και προωθούν αποδοτικό εξοπλισμό με μηδενικό κόστος. Οι κυβερνητικές οδηγίες που αναφέρονται στον καθορισμό των ελαχίστων κριτηρίων που πρέπει να πληροί ο εξοπλισμός για να θεωρείται ενεργειακά αποδοτικός είναι ουσιαστικά προγράμματα άμεσης παρέμβασης.

Από πλευράς αυξημένης πολυπλοκότητας ως προς την ενσωμάτωση, τα προγράμματα ενημέρωσης είναι τα πιο απλά, ακολουθεί η τεχνική υποστήριξη, τα οικονομικά κίνητρα και τέλος η άμεση παρέμβαση. Μια ένδειξη του επιπέδου της προσπάθειας που συνήθως εμπλέκεται σε κάθε ένα από αυτά τα προγράμματα δίνεται στην Εικόνα 7.8.



Εικόνα 7.8: Τυπικό επίπεδο της προσπάθειας στην υλοποίηση του προγράμματος [94]

7.5.8.2 Προγράμματα του DSM

Τα πρώτα προγράμματα Διαχείρισης Ζήτησης ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 στις Η.Π.Α., ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν εξαπλωθεί σε χώρες της Ευρώπης, της Ασίας, της Λατινικής Αμερικής και στην Αυστραλία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κυριότερα είδη προγραμμάτων που έχουν εμφανιστεί τις τελευταίες δεκαετίες [94]:

i) Τίτλος: Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού:

Στόχος: Το πρόγραμμα αυτό στοχεύει να ενθαρρύνει τους πελάτες να εγκαταστήσουν συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες λάμπες πυρακτώσεως.

Περιγραφή: Ένας συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού, χρησιμοποιεί περίπου το 25% ενέργειας ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως, ενώ παρέχει ισοδύναμη απόδοση φωτισμού. Το κόστος αυτών των λαμπτήρων είναι πολύ υψηλότερο και αυτό αποτελεί εμπόδιο που πρέπει να αντιμετωπιστεί στο σχεδιασμό του προγράμματος. Υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες επιλογές που περιλαμβάνουν την πίστωση (μέσω του λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος) των καταναλωτών που έχουν εγκαταστήσει λαμπτήρες και την προσφορά εκπτώσεων για την εγκατάστασή τους από τους προμηθευτές των λαμπτήρων ή από τους παρόχους. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μια διαφημιστική εκστρατεία για τη διαμόρφωση της συνείδησης των καταναλωτών σχετικά με την ενεργειακή απόδοση.

ii) Τίτλος: Υψηλής απόδοσης συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού:

Στόχος: Το πρόγραμμα προωθεί λαμπτήρες φθορισμού 18W και 36W για να αντικαταστήσει τους συμβατικούς λαμπτήρες των 20W και 40W, αντίστοιχα.

Περιγραφή: Οι λαμπτήρες φθορισμού παρουσιάζουν μια πολύ υψηλή διείσδυση στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα. Οι πιο κοινοί τύποι των λαμπτήρων φθορισμού είναι 40W και 20W. Ο λαμπτήρας των 40W μπορεί να αντικατασταθεί με κάποιο των 36W με

την ίδια απόδοση φωτισμού και ο λαμπτήρας των 20W μπορεί να αντικατασταθεί με κάποιο των 18W. Οι τρέχουσες τιμές λιανικής πώλησης των λαμπτήρων υψηλής απόδοσης είναι παρόμοιες ή ελαφρώς χαμηλότερες από τους συνήθεις λαμπτήρες και ως εκ τούτου, δεν απαιτούνται οικονομικά κίνητρα. Τα βασικά εμπόδια για την εγκατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού είναι η μικρή διαθεσιμότητα και η ελλιπής ενημέρωση σχετικά με αυτούς.

iii) Τίτλος: Χαρακτηρισμός (labelling) ψυγείων:

Στόχος: Ο στόχος είναι ο ενεργειακός χαρακτηρισμός των ψυγείων, έτσι ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των κατηγοριών σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, να καθοριστούν οι ελάχιστες κατασκευαστικές απαιτήσεις των ψυγείων πριν την προώθησή τους στην αγορά.

Περιγραφή: Οι εξελίξεις για την αύξηση της αποδοτικότητας των ψυγείων περιλαμβάνουν βελτιωμένη απόδοση συμπίεστη, υψηλότερα επίπεδα μόνωσης, επανασχεδιασμός του κύκλου ψύξης και βελτίωση των ελέγχων. Χωρίς την ενεργειακή επισήμανση, οι καταναλωτές δεν είναι σε θέση να καταλήξουν σε επιλογή αποδοτικού ψυγείου. Μέσω καθορισμού ομοίων εργαστηριακών δοκιμών για τα ψυγεία που απευθύνονται σε μια συγκεκριμένη αγορά, μπορούν να χαρακτηριστούν τα ψυγεία.

iv) Τίτλος: Συντήρηση ψυκτικού εξοπλισμού στον εμπορικό τομέα:

Στόχος: Ο στόχος είναι η δωρεάν βελτιωμένη συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό σε διάφορα ψυκτικά φορτία των εμπορικών κτιρίων.

Περιγραφή: Τα ψυκτικά φορτία (ψυγεία, κλιματιστικά, κ.ά.) λειτουργούν συνήθως καθ' όλη τη διάρκεια του 24-ώρου. Εκτός από την εκτέλεση εργασιών συντήρησης, το κοινό μπορεί να ενημερωθεί μέσω φυλλαδίων για το πώς μπορεί να γίνει η συντήρηση χωρίς την παρουσία του εξειδικευμένου προσωπικού, τονίζοντας μάλιστα τις μειώσεις στα τιμολόγια που μπορεί να οδηγήσει η επιτυχής συντήρηση. Επίσης, το φυλλάδιο μπορεί να περιέχει τα μέσα επικοινωνίας με το εξειδικευμένο προσωπικό.

v) Τίτλος: Διακοπτόμενα ποσοστά (interruptible rates) για μεγάλους καταναλωτές:

Στόχος: Παροχή οικονομικών κινήτρων στους καταναλωτές πελάτες με διακοπτόμενα φορτία για την απενεργοποίηση αυτών σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Περιγραφή: Πολλοί μεγάλοι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να θέσουν εκτός συγκεκριμένα φορτία κατά τη διάρκεια της αιχμής του φορτίου, χωρίς μεγάλη αλλαγή στην παραγωγική τους διαδικασία. Αυτή η διακοπή δεν έχει συγκεκριμένα οφέλη στον καταναλωτή εκτός και εάν του δοθεί οικονομικό κίνητρο από τον πάροχο. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει την επικοινωνία του παρόχου με τον καταναλωτή για την απενεργοποίηση συγκεκριμένων φορτίων ορισμένων ωρών ή καθ' όλης της διάρκειας της περιόδου 8:00-16:00, σε ημέρες υψηλής ζήτησης. Το κόστος του προγράμματος περιλαμβάνει την εγκατάσταση μετρητών στους συμμετέχοντες καταναλωτές για την καταγραφή της κατανάλωσής τους. Σχετικά με την καταγραφή, υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης μόνο του διακοπτόμενου φορτίου με ξεχωριστό κύκλωμα σε σχέση με το συνολικό φορτίο. Τέλος, η διακοπή του φορτίου μπορεί να γίνει χειροκίνητα από τον καταναλωτή ή άμεσα από τον πάροχο μέσω κατάλληλης διάταξης απομακρυσμένου ελέγχου.

vi) Τίτλος: Ενεργειακές επιθεωρήσεις για μεγάλους καταναλωτές:

Στόχος: Το πρόγραμμα αποσκοπεί στον προσδιορισμό των ποσοστών εξοικονόμησης ενέργειας για εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές. Η χρηματοδότηση των επιθεωρήσεων μπορεί να γίνει μέσω μερικής ή ολικής δανειοδότησης και η αποπληρωμή μπορεί να γίνει μέσω της εξοικονόμησης χρημάτων που επιτυγχάνεται με την ενεργειακή απόδοση.

Περιγραφή: Αυτό το πρόγραμμα απαιτεί από τον πάροχο να διεξάγει ενεργειακές επιθεωρήσεις ή να την αναθέσει σε ιδιωτικό φορέα. Προϋπόθεση είναι η απόκτηση επαρκών δεδομένων κατανάλωσης. Η επιθεώρηση προσδιορίζει όλες τις επιλογές για αποδοτική χρήση της ενέργειας και την ιεράρχηση αυτών ανά κόστος και ποσού εξοικονόμησης. Επίσης, μπορεί να τεθεί ως προϋπόθεση μία αρχική εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης μηδαμινού ή ελαχίστου κόστους από τον καταναλωτή, για να εισαχθεί σε πρόγραμμα ενεργειακής επιθεώρησης. Μέσω των ενεργειακών επιθεωρήσεων μπορεί να αναδειχθεί ο ρόλος των ESCOs.

vii) Τίτλος: Έλεγχος λειτουργίας κλιματιστικών:

Στόχος: Το πρόγραμμα αποσκοπεί στην προώθηση διατάξεων ελέγχου για την απενεργοποίηση των κλιματιστικών σε ώρες που δεν είναι απαραίτητη η λειτουργία τους (νυχτερινές ώρες, μη εργάσιμες ημέρες, κ.λπ.). Η προμήθεια των διατάξεων μπορεί να γίνει από τον πάροχο και η αποπληρωμή να γίνει σε δόσεις.

Περιγραφή: Εκτός από κλιματιστικά στα εμπορικά κτίρια, ο έλεγχος μπορεί να γίνει σε φωτοτυπικά μηχανήματα, φορτία φωτισμού, κ.λπ.

7.5.9 Εμπόδια για την ενσωμάτωση της Διαχείρισης Ζήτησης

Η έννοια του DSM δεν είναι καινούργια και για την υλοποίησή του έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες. Ωστόσο, η εφαρμογή του DSM υπήρξε και συνεχίζει να είναι αργή. Οι σημαντικότεροι λόγοι στους οποίους οφείλεται η αργή ενσωμάτωση της Διαχείρισης Ζήτησης είναι οι ακόλουθοι [93][89]:

- Ανεπαρκής υποδομή των τεχνολογιών μέτρησης και τηλεπικοινωνίας: Σύνθετη μέτρηση, επικοινωνίες, μέθοδοι ελέγχου και τεχνολογίες της πληροφορίας απουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Για να στηριχθεί η εφαρμογή του DSM στη λειτουργία του συστήματος, απαιτείται πολύ πιο σημαντική εξάπλωση διαφόρων αισθητήρων και προηγμένων συσκευών μέτρησης και ελέγχου, τα οποία να συνοδεύονται από πολύ πιο εξελιγμένη μέτρηση της ενέργειας και της λειτουργίας των συναλλαγών. Η εφαρμογή των ΤΠΕ για τον έλεγχο των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης ενεργειακής και επικοινωνιακής αρχιτεκτονικής του συστήματος που έχει ως στόχο να ενσωματώσει δύο συστήματα στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας: το ηλεκτρικό σύστημα διανομής και το σύστημα πληροφοριών (επικοινωνία, δίκτυα και ευφυής εξοπλισμός) που το ελέγχει. Υπήρξε μια σειρά πρωτοβουλιών (όπως το «GridWise» και το «IntelliGrid» στις ΗΠΑ και το «SmartGrid» στην ΕΕ) που προορίζονται για την ενθάρρυνση της χρήσης των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, με την ενσωμάτωση καταναεμημένη ευφυΐας με τη χρήση αισθητήρων και με προγράμματα ζήτησης-απόκρισης για τη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος, παρέχοντας παράλληλα στους πελάτες νέες επιλογές. Αν και υπάρχουν τα βασικά συστατικά της τεχνολογίας, απαιτούνται στοχευμένες δοκιμές για να αποκτήσουν περισσότερη εμπειρία στο πλαίσιο του DSM και της λειτουργίας του δικτύου.
- Ολοκληρωμένη ανάλυση του κόστους και των οφελών της εγκατάστασης μίας τέτοιας εξελιγμένης υποδομής: Θα πρέπει να υπάρξει μια ολοκληρωμένη ανάλυση τόσο του κόστους όσο και των οφελών που θα προκύψουν αν οι καταναλωτές εγκαταστήσουν μια τέτοια εξελιγμένη υποδομή.
- Μη διαθεσιμότητα προϊόντων ή υπηρεσιών: Σε πολλές χώρες η διαθεσιμότητα τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας αλλά και εξειδίκευσης είναι περιορισμένη για διάφορους λόγους. Μπορεί η συγκεκριμένη τεχνολογία να βρίσκεται ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης ή ακόμα να μην παράγεται τοπικά και να υπάρχει δυσκολία εισαγωγής από μία άλλη χώρα.
- Οργανωτικά εμπόδια: Γενικά είναι δύσκολο να γίνουν επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας, όταν γενικότερα το θέμα της ενεργειακής αποδοτικότητας δεν βρίσκεται ψηλά στη λίστα κάποιων οργανισμών. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί πιθανότατα υπάρχει σκεπτικισμός για την απόδοση των μέτρων. Επίσης, πολλοί φορείς εμπλέκονται στη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή των μέτρων αυτών, κάτι το οποίο αυξάνει τα κόστη διεκπεραίωσης για έναν οργανισμό. Επιπλέον, παρατηρείται και ελλιπής χρηματοδότηση για τέτοιες δράσεις.
- Οικονομικά εμπόδια: Αυτά αναφέρονται στο περιορισμένο κεφάλαιο για επενδύσεις, ειδικά όσον αφορά στους οικιακούς καταναλωτές, αλλά και στο πολύ υψηλό αρχικό κόστος ορισμένων τεχνολογιών.
- Έλλειψη κατανόησης των πλεονεκτημάτων των λύσεων DSM: Τα οφέλη και η αξία του DSM βρίσκονται στην ευελιξία που παρέχει τόσο στη λειτουργία όσο και στην ανάπτυξη του συστήματος. Ωστόσο, δεν υπήρξε επαρκής σαφήνεια όσον αφορά το επιχειρηματικό ενδιαφέρον για το DSM, κυρίως λόγω της έλλειψης των μεθοδολογιών για την

ποσοτικοποίηση του κόστους και του οφέλους. Επιπλέον, απαιτείται περισσότερη δουλειά σε αυτόν τον τομέα. Σε γενικές γραμμές, το μέγεθος της αξίας του DSM, θα καθοδηγείται από τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

- Χαμηλό κόστος ενέργειας: Το κόστος ενέργειας για τους τελικούς καταναλωτές είναι σχετικά μικρότερο από τα κόστη παραγωγής και τα λειτουργικά κόστη. Σαν αποτέλεσμα οι τελικοί καταναλωτές δεν έχουν επίγνωση των ευκαιριών ενεργειακής αποδοτικότητας.
- Έλλειψη πληροφόρησης: Αυτό το εμπόδιο αναφέρεται στην έλλειψη επαρκούς πληροφόρησης των τελικών καταναλωτών ενέργειας σχετικά με την ηλεκτρική τους κατανάλωση αλλά και τον προμηθευτή τους. Αυτό ισχύει κυρίως για τους μικρούς καταναλωτές και ιδιαίτερα για αυτούς με χαμηλό εισόδημα.
- Κόστη έρευνας και πληροφόρησης: Οι τελικοί καταναλωτές αλλά και άλλοι συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας δεν έχουν συχνά ούτε το χρόνο ούτε την οικονομική δυνατότητα να αναζητήσουν εναλλακτικές ευκαιρίες ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό τους κάνει να αποφασίζουν σχετικά με τις ενεργειακές τους υπηρεσίες και προϊόντα με βάση τη συνήθεια ή την παράδοση.
- Έλλειψη αποτελεσμάτων που βασίζονται στην εμπειρία: Οι καταναλωτές δεν έχουν εμπειρία στην εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας και είναι γενικά διστακτικοί στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, τις οποίες μάλιστα δεν θεωρούν συχνά αξιόπιστες. Επίσης, η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να διαταράξει τη ρουτίνα τους.
- Λύσεις βασισμένες στο DSM συχνά δεν είναι ανταγωνιστικές σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις: Η τεχνική, οικονομική και περιβαλλοντική απόδοση του DSM των υφιστάμενων και μελλοντικών συστημάτων θα πρέπει να αξιολογηθούν πλήρως. Αυτό απαιτείται επείγοντως, προκειμένου να πραγματοποιηθεί αντικειμενική σύγκριση του DSM με τις παραδοσιακές λύσεις.
- Λύσεις που βασίζονται στο DSM τείνουν να αυξάνουν την πολυπλοκότητα της λειτουργίας του συστήματος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές λύσεις: Αυτό είναι ένα άλλο εμπόδιο για την εφαρμογή του DSM. Ωστόσο, δεδομένου ότι η ευελιξία θεωρείται πλέον ως σημαντικό εργαλείο για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στις μελλοντικές εξελίξεις, σε συνδυασμό με τη συνεχή μείωση του κόστους των τεχνολογιών του DSM, αναμένεται ότι, στο εγγύς μέλλον, η Διαχείριση της Ζήτησης θα γίνει πολύ πιο ανταγωνιστική.
- Ανάμνηση δομής της αγοράς και έλλειψη κινήτρων: Υπάρχει ανάγκη στην αγορά να αναπτυχθούν τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα. Ακόμη, και για τα προγράμματα DSM που μπορεί να είναι ανταγωνιστικά, τα οφέλη μπορεί να μην είναι προσιτά σε εκείνους που επενδύουν στην τεχνολογία, καθώς οι ανεπτυγμένες ρυθμίσεις της αγοράς υποστηρίζουν τις συμβατικές λύσεις. Νέοι βιώσιμοι μηχανισμοί της αγοράς απαιτούνται για να ανταμείψουν κατάλληλα το DSM για τα οφέλη που προσφέρει.

7.5.10 Οφέλη της Διαχείρισης Ζήτησης

Τα κίνητρα πίσω από την εφαρμογή του DSM είναι προφανώς διαφορετικά για τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς. Έτσι, για τους παρόχους η μείωση ή η αλλαγή της ενεργειακής ζήτησης σημαίνει την αποφυγή ή την καθυστέρηση της κατασκευής νέων μονάδων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό το γεγονός θα έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή της επιβολής επιπλέον χρέωσης στους καταναλωτές, έτσι ώστε να καλυφτεί μέρος των δαπανών για την εγκατάσταση των μονάδων. Για τους καταναλωτές το DSM προσφέρει την ευκαιρία για μείωση των ενεργειακών δαπανών τους. Ειδικά, στην περίπτωση των βιομηχανικών καταναλωτών, αυτό σημαίνει μείωση του κόστους παραγωγής και συνεπώς της παραγωγής ενός πιο ανταγωνιστικού προϊόντος.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, πώς τα οφέλη που προκύπτουν από τα μέτρα DSM είναι πάρα πολλά και αφορούν τόσο τον πάροχο, όσο και τον καταναλωτή, αλλά και το κοινωνικό σύνολο [94][89]:

- Οφέλη για τον πάροχο: μείωση της ανάγκης για εγκατάσταση νέων μονάδων, βελτίωση της απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής, βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος και αναβάθμιση της ποιότητας ισχύος, προσφορά ποιοτικότερων ενεργειακών υπηρεσιών, αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ, βελτίωση της εξυπηρέτησης των καταναλωτών, κ.ά.

- Οφέλη για τον καταναλωτή: χαμηλότερη χρέωση ηλεκτρισμού, πλειάδα υπηρεσιών για κάλυψη των πραγματικών αναγκών, μείωση των λογαριασμών των πελατών μέσω της χρήσης του ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού και των συσκευών, βελτίωση του τρόπου ζωής τους, κ.ά.
- Οφέλη για το κοινωνικό σύνολο: δημιουργία νέων αγορών, οικονομική ανάπτυξη, τεχνολογική καινοτομία, προστασία του περιβάλλοντος καθώς θα έχουμε μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, αποκεντροποίηση της παραγωγής, μείωση εξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους, αύξηση της απασχόλησης μέσω της κατανομής του κεφαλαίου σε άλλα αναπτυξιακά προγράμματα, μεγιστοποίηση της ευημερίας των πολιτών, κ.ά.

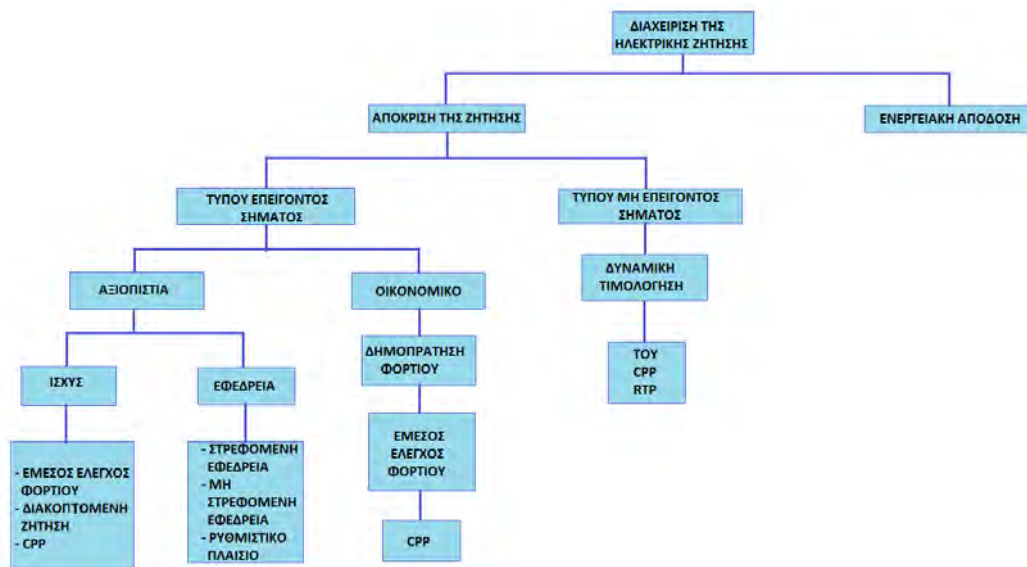
Εκτός των παραπάνω, από τα μέτρα του DSM προκύπτουν και άλλα οφέλη, τα οποία αναλύονται συνοπτικά παρακάτω:

- Οφέλη για τους σταθμούς παραγωγής: Η Διαχείριση της Ζήτησης μπορεί να βοηθήσει ώστε να καθυστερήσει η κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής ή ακόμα και να μειωθεί η χρήση δαπανηρών μονάδων αιχμής στο σύστημα, προσδιορίζοντας απλά τα φορτία που μπορούν να απορριφθούν σε κρίσιμες περιόδους, αντί για ένταξη νέων μονάδων.
- Οφέλη για το δίκτυο διανομής και μεταφοράς: Η μη ένταξη νέων μονάδων έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η ανάγκη για την ενίσχυση των δικτύων διανομής και μεταφοράς. Επίσης, η εφαρμογή του DSM θα βοηθήσει στην αποσυμφόρηση αστικών υποσταθμών διανομής. Η υψηλή ζήτηση, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες εξαιτίας της αυξημένης χρήσης κλιματισμού, θα μπορεί να αντιμετωπιστεί χωρίς να γίνει αντικατάσταση των Μ/Σ με καινούργιους αυξημένης ισχύος, αλλά με την εφαρμογή προγραμμάτων DSM. Ομοίως, η εφαρμογή του DSM μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της καταπόνησης καλωδίων και μετασχηματιστών σε περιόδους με αυξημένη ζήτηση φορτίου.
- Οφέλη για τη διείσδυση των ΑΠΕ: Οι ανησυχίες σχετικά με την ευελιξία, τη μεταβλητότητα, τη μη προβλεψιμότητα των ανανεώσιμων πηγών και των επιπτώσεων τους στη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, μπορούν να μετριαστούν με την εξάπλωση των προγραμμάτων DSM.

7.6 Κατηγορίες της Διαχείρισης Ζήτησης

Στην ηλεκτρική βιομηχανία ο όρος «Demand Side Management», ο οποίος αναφέρεται σε προγράμματα που προσπαθούν να επηρεάσουν τα πρότυπα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας του πελάτη για να ταιριάζουν με τις τρέχουσες ή προβλεπόμενες δυνατότητες του συστήματος παροχής ισχύος, μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές κατηγορίες (Διάγραμμα 7.9) [95]:

- Ενεργειακή Απόδοση (Energy Efficiency, EE).
- Απόκριση Ζήτησης (Demand Response, DR).



Διάγραμμα 7.9: Κατηγορίες της Διαχείρισης Ζήτησης (DSM)

Σύμφωνα με το «National Action Plan for Energy Efficiency» που εκδόθηκε από το U.S. Department of Energy and Environmental Protection Agency του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α., ο όρος «Ενεργειακή Απόδοση» (Energy Efficiency, EE) αναφέρεται στη χρήση λιγότερης ενέργειας για να παρέχει το ίδιο ή βελτιωμένο επίπεδο υπηρεσιών στον καταναλωτή με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ενώ ο όρος «Απόκριση Ζήτησης» (Demand Response, DR) αναφέρεται σε αλλαγές στη χρήση του ηλεκτρισμού των καταναλωτών από τη συνήθη λειτουργία τους αποκρινόμενοι στις αλλαγές των τιμών του ηλεκτρισμού ανά χρονική περίοδο ή χρηματικά κίνητρα σχεδιασμένα να επιφέρουν μικρότερη χρήση του ηλεκτρισμού σε περιόδους υψηλών τιμών στη χονδρεμπορική αγορά ή όταν απειλείται η αξιοπιστία του συστήματος.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 7.9, η Απόκριση Ζήτησης (DR) διακρίνεται σε «Τύπου Επείγοντος Σήματος» ή αλλιώς «Κατανεμόμενη» (Dispatchable/Event Based) και σε «Τύπου Μη Επείγοντος Σήματος» ή αλλιώς «Μη Κατανεμόμενη» (Non-Dispatchable/Non-Event Based). Στην 1^η κατηγορία ανήκουν τα προγράμματα DR που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται σε επείγοντα γεγονότα που σχετίζονται με την αξιοπιστία του συστήματος ή/και σε γεγονότα που σχετίζονται με μείωση της αιχμής του φορτίου. Στην 2^η κατηγορία ανήκουν προγράμματα που δεν αναφέρονται απαραίτητως σε επείγουσες καταστάσεις του δικτύου.

7.6.1 Ενεργειακή Απόδοση (Energy Efficiency)

Η «Ενεργειακή Απόδοση» (Energy Efficiency, EE) [96] αναφέρεται «στη χρησιμοποίηση λιγότερης ενέργειας για την παροχή των ίδιων ή βελτιωμένων υπηρεσιών στον καταναλωτή με οικονομικότερο και αποδοτικότερο τρόπο». Η Ενεργειακή Απόδοση περιλαμβάνει, δηλαδή, τη χρησιμοποίηση λιγότερης ενέργειας ανά πάσα στιγμή ακόμα και κατά τις περιόδους αιχμής.

Η Ενεργειακή Απόδοση απαιτεί μόνιμες αλλαγές της ηλεκτρικής κατανάλωσης μέσω της εγκατάστασης αποδοτικότερων συσκευών από τον καταναλωτή, με σκοπό τη μείωση της ποσότητας ενέργειας που χρειάζεται για την υλοποίηση μιας λειτουργίας.

Ο ορισμός της Ενεργειακής Απόδοσης στηρίζεται σε τρεις βασικές παραδοχές:

- οι υπάρχουσες ηλεκτρικές συσκευές αντικαθίστανται με αποδοτικότερες συσκευές, χωρίς όμως να υπάρξει καμία αλλαγή στη λειτουργία που προσφέρουν στον καταναλωτή,
- οι νέες συσκευές λειτουργούν χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια για την ίδια λειτουργία, και
- η πραγματική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας (kWh) πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ανεξάρτητα από την παρουσία κρίσιμων περιόδων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αρκετά σημαντικά ώστε να γίνει κατανοητή η Ενεργειακή Απόδοση, καθώς επίσης να γίνει εμφανής η διαφορά της με την Απόκριση Ζήτησης.

Η Ενεργειακή Απόδοση δεν απαιτεί καμία θυσία ή μείωση της άνεσης και ξεχωρίζει από την πρακτική συντηρητικής χρήσης ενέργειας, η οποία απαιτεί μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας και ποιότητας παροχών (ουσιαστικά αλλαγή ενεργειακής συμπεριφοράς του καταναλωτή) μέσα από διάφορες ενέργειες, όπως τη μείωση του θερμοστάτη κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ή μείωση του φωτισμού κάτω από το επιθυμητό επίπεδο.

Βελτιώνοντας την ενεργειακή συμπεριφορά όλων των καταναλωτών, βιομηχανικών, εμπορικών και οικιακών, είναι ένας από τους εποικοδομητικότερους και οικονομικά αποδοτικούς τρόπους για να αντιμετωπιστούν οι αυξανόμενες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, να διασφαλίσουμε την αξιοπιστία των ενεργειακών συστημάτων και να συμβάλουμε στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Κάποια βασικά προγράμματα και τεχνικές για τη διείσδυση της Ενεργειακής Απόδοσης στους καταναλωτές είναι οι εξής:

- ✓ Εκπτώσεις στους πελάτες που εγκαθιστούν ενεργειακά αποδοτικές συσκευές, συστήματα θέρμανσης, αερισμού και ψύξης (Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC), κ.ά.

- ✓ *Χρηματοδότηση* η οποία γίνεται συνήθως με επιδοτήσεις ή οικονομικά προγράμματα, ώστε να αντισταθμιστεί το αρχικό κόστος των μέτρων της Ενεργειακής Απόδοσης.
- ✓ *Κίνητρα εμπορίου* τα οποία αποτελούν τα κίνητρα που δίνονται σε επιχειρήσεις ώστε να επενδύουν, να πωλούν και να εγκαθιστούν προγράμματα και συσκευές ενεργειακής απόδοσης.
- ✓ *Εκπαίδευση των καταναλωτών* για τα οφέλη της Ενεργειακής Απόδοσης.
- ✓ *Πρότυπα συσκευών* όπου θα ενσωματώνεται η ενεργειακή απόδοση της συσκευής.
- ✓ *Κανονισμοί δόμησης* ώστε να πιστοποιείται η ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων αλλά και ο σχεδιασμός νέων πραγματικά αποδοτικών κτιρίων.

7.6.2 Απόκριση Ζήτησης (Demand Response)

7.6.2.1 Περιγραφή της έννοιας

Ο όρος «Απόκριση Ζήτησης» (Demand Response, DR) αναφέρεται σε ένα σύνολο χρονικά εξαρτώμενων προγραμμάτων και κοστολογήσεων που στοχεύουν στη μείωση ή στη μεταβολή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου και την καλύτερη διαχείριση του κόστους της ενέργειας.

Με άλλα λόγια, η Απόκριση Ζήτησης αναφέρεται σε αλλαγές της ηλεκτρικής κατανάλωσης σε σχέση με τη συνήθη κατανάλωση των καταναλωτών, με σκοπό οι καταναλωτές να ανταποκρίνονται είτε στις αλλαγές της τιμολόγησης του ηλεκτρισμού ή εξαιτίας κινήτρων που δίνονται ώστε να μειωθεί η ζήτηση σε κρίσιμες περιόδους [96][97]. Ως κρίσιμες περίοδοι θεωρούνται οι περίοδοι όπου κατά τη διάρκεια του έτους οι τιμές της χονδρεμπορικής αγοράς είναι υψηλές ή οι περίοδοι που η αξιοπιστία του συστήματος βρίσκεται σε κίνδυνο εξαιτίας μειωμένης εφεδρείας ή επικίνδυνων καιρικών φαινομένων. Στο σύνολό τους οι κρίσιμες περίοδοι αντιστοιχούν σε μερικές ώρες μόνο το χρόνο. [97]

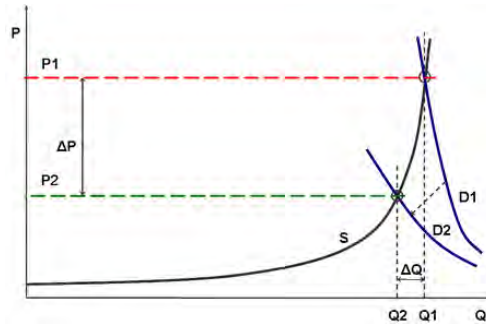
Στόχος της Απόκρισης Ζήτησης είναι να γίνουν οι κατάλληλες τροποποιήσεις από την πλευρά της κατανάλωσης, με σκοπό την αλλαγή της καμπύλης φορτίου είτε με τη μείωση της κατανάλωσης τις στιγμές της αιχμής του συστήματος είτε με τη μετατόπιση της κατανάλωσης από ώρες αιχμής σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.

Επιπλέον, η Απόκριση Ζήτησης αναφέρεται σε ένα σύνολο στρατηγικών που αποσκοπούν στο να συμπεριλάβουν τον καταναλωτή του ηλεκτρισμού στη διαδικασία του καθορισμού των τιμών. Τα μεταβλητά φορτία που προκύπτουν, καθώς οι καταναλωτές προσαρμόζουν τη ζήτησή τους στις τιμές της αγοράς, είναι υπεύθυνα για τη μείωση των υπερβολικών τιμών της Αγοράς Χονδρικής Πώλησης (AXΠ) (Wholesale Market).

Γι' αυτό και ως Απόκριση Ζήτησης μπορεί να οριστεί οποιαδήποτε προσπάθεια, βασισμένη σε οικονομικά κίνητρα, η οποία μπορεί να αυξήσει την ελαστικότητα ζήτησης των αγοραστών [98]. Η ελαστικότητα της ζήτησης μετρά κατά πόσο η ζητούμενη ποσότητα ανταποκρίθηκε στη μεταβολή της τιμής και ορίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας του αγαθού που ζητείται προς την ποσοστιαία μεταβολή της τιμής του (Εξίσωση 7.1).

$$E = - \frac{Q_2 - Q_1}{P_1 - P_2} \cdot \frac{P_1}{Q_1} \quad (7.1)$$

Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο νόμο της ζήτησης, σύμφωνα με τον οποίο όσο αυξάνεται η τιμή ενός αγαθού, μειώνεται η ποσότητα ζήτησης και αντίστροφα. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.10, η Απόκριση Ζήτησης μπορεί να μεταβάλλει την καμπύλη ζήτησης των αγοραστών ως απόκριση στην άνοδο των τιμών. Υπό ανελαστική ζήτηση ($D1$) η τιμή $P1$ είναι εξαιρετικά υψηλή, ενώ αν ληφθούν κατάλληλα μέτρα την πολιτικής DR η ζήτηση γίνεται πιο ελαστική ($D2$) και μία πολύ μικρότερη τιμή $P2$ εμφανίζεται στην αγορά [99].

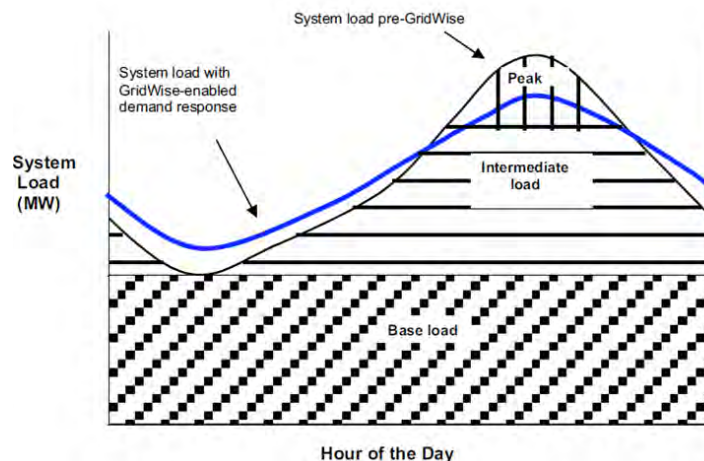


Διάγραμμα 7.10: Η επιρροή της Απόκρισης Ζήτησης στη διαμόρφωση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας [99]

Το οριακό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εξαιρετικά μεταβλητό, επηρεάζεται από τη ζήτηση αλλά και τις μονάδες που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν αυτή τη ζήτηση [97]. Έτσι, ενώ το κόστος μεταβάλλεται σε πολύ μικρές περιόδους (π.χ. ωριαία μεταβολή), οι καταναλωτές τιμολογούνται με το μέσο κόστος παραγωγής που προκύπτει από ένα διάστημα μηνών ή ετών. Καθώς οι πελάτες δεν αντιλαμβάνονται το βραχυπρόθεσμο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν σχεδόν μηδαμινό κίνητρο να προσαρμόσουν τις καταναλωτικές τους ανάγκες με τις συνθήκες που επικρατούν στην πλευρά της παραγωγής, με αποτέλεσμα να υπερκαταναλώνουν σε περιόδους έντονης ζήτησης και να έχουν αρκετά μειωμένη κατανάλωση στις περιόδους που το κόστος ενέργειας είναι χαμηλό.

Για την κινητοποίηση των καταναλωτών απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός και υλοποίηση ενεργειών, καθώς και παρακολούθηση της ανταπόκρισής τους. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα Απόκρισης Ζήτησης ενημερώνονται για τις διαφορετικές τιμολογήσεις της καταναλισκόμενης ενέργειας με σήματα που μεταδίδονται από το διαχειριστή του συστήματος.

Με αυτόν τον τρόπο, η Απόκριση Ζήτησης αποτελεί έναν αποδοτικό και ευέλικτο μηχανισμό κάλυψης φορτίου ο οποίος οδηγεί σε αποφυγή ανάγκης για νέα εγκατεστημένη ισχύ, σε περιβαλλοντολογικά οφέλη αλλά και σε ασφαλέστερα και αξιόπιστα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 7.11: Προβλεπόμενες επιπτώσεις του Έξυπνου Δικτύου σε μία τυπική ημερήσια καμπύλη φορτίου [54]

7.6.2.2 Στρατηγικές απόκρισης φορτίου (Load Response Strategies)

Οι καταναλωτές που συμμετέχουν στην Απόκριση Ζήτησης μπορούν να αποκρίθουν στις υψηλές τιμές και στις επείγουσες καταστάσεις με τρεις δυνατούς τρόπους [97][105]:

- i) Μείωση μεγίστου (peak clipping): Οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν τη χρήση ηλεκτρισμού στις ώρες υψηλών τιμών ή κρίσιμων γεγονότων ανάλογα με το πρόγραμμα στο οποίο συμμετέχουν χωρίς μετά να την αντισταθμίσουν. Στην περίπτωση αυτή ο καταναλωτής υφίσταται σε κάποιο βαθμό απώλεια ανέσεων. Για παράδειγμα, ένας οικιακός καταναλωτής μπορεί να σβήσει τα φώτα και να αυξήσει τη θερμοκρασία

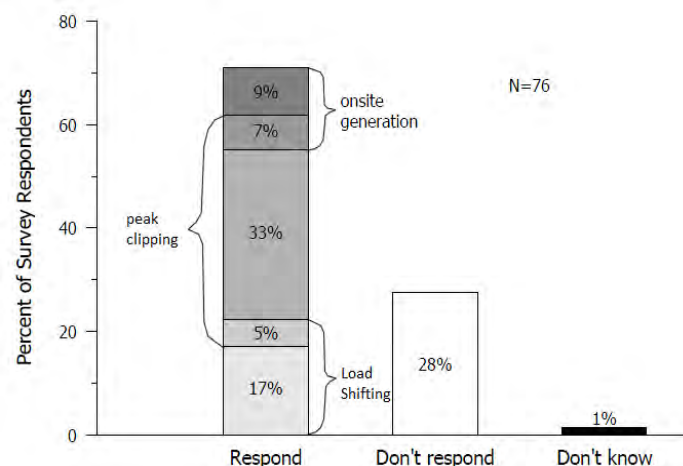
ρύθμισης στο θερμοστάτη του κλιματιστικού του τους θερινούς μήνες κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής ή μία βιομηχανική εγκατάσταση θα μπορούσε να κλείσει τις συσκευές των γραφείων της.

- ii) Μετατόπιση φορτίου (load shifting): Οι καταναλωτές μπορούν να αναβάλουν κάποιες δραστηριότητές τους που απαιτούν κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από περιόδους αιχμής σε άλλες χρονικές περιόδους (δηλαδή σε περιόδους εκτός αιχμής). Η απώλεια, δηλαδή, του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρισμού δεν χάνεται, απλώς αναβάλλεται για άλλη στιγμή πριν ή μετά από τον αρχικό σχεδιασμό χρήσης του. Για παράδειγμα, ένας οικιακός καταναλωτής θα μπορούσε να αναβάλει τη λειτουργία του πλυντηρίου του για τις βραδινές ώρες ή μία βιομηχανική εγκατάσταση θα μπορούσε να επαναπρογραμματίσει την παραγωγή κάποιας παρτίδας για νωρίς το απόγευμα ή την άλλη μέρα.
- iii) Επιτόπου παραγωγή (on-site generation): Κάποιοι καταναλωτές μπορούν να αποκριθούν με επιτόπου παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (διανεμημένη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ή εφεδρική ηλεκτρογεννήτρια) για την ικανοποίηση των αναγκών τους σε ηλεκτρισμό. Αν και ο πελάτης δεν μειώνει ή μειώνει ελάχιστα την κατανάλωσή του, η απαίτηση για ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο μειώνεται.

Οι στρατηγικές απόκρισης φορτίου μπορούν να εμπλουτιστούν με τεχνολογίες και τεχνικές που επιτρέπουν μία πλήρως αυτοματοποιημένη Απόκριση Ζήτησης. Ωστόσο, είναι σε πολύ αρχικό στάδιο η πλήρης αυτοματοποίηση και ελάχιστοι πελάτες την έχουν υιοθετήσει.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Τμήμα Ανάλυσης της Ενέργειας του Εθνικού Εργαστηρίου των ΗΠΑ (Energy Analysis Department of Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory) [106] σε ένα μικρό δείγμα καταναλωτών κατά το έτος 2004 (Διάγραμμα 7.12), φαίνεται ενδεικτικά το ποσοστό ανταπόκρισης των καταναλωτών στη ζήτηση. Από αυτό το ποσοστό μπορούμε να δούμε το μερίδιο κάθε στρατηγικής απόκρισης φορτίου.

Στο Διάγραμμα 7.12 παρατηρούμε πως η στρατηγική «Μείωσης Μεγίστου» πλεονεκτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες 2 στρατηγικές όσον αφορά τη μείωση φορτίου, καθώς το 45% του δείγματος δήλωσε ότι θα μπορούσε να ανταποκριθεί μειώνοντας σχετικά ασήμαντα φορτία. Το 22% απάντησε ότι θα μπορούσε να μετατοπίσει το φορτίο από μία χρονική περίοδο σε μία άλλη (Στρατηγική Μετατόπισης Φορτίου), ενώ το 16% ανέφερε ότι εξυπηρετείται με επιτόπου παραγωγή (Στρατηγική Επιτόπου Παραγωγής). Αξίζει να σημειωθεί πως το 13% των ερωτηθέντων ανέφεραν περισσότερες από μία στρατηγικές.



Διάγραμμα 7.12: Το ποσοστό ανταπόκρισης των καταναλωτών στη ζήτηση και από αυτό το ποσοστό το μερίδιο κάθε στρατηγικής απόκρισης φορτίου [106]

7.6.2.3 Κατηγορίες προγραμμάτων Απόκρισης Ζήτησης

Τα προγράμματα Απόκρισης Ζήτησης μπορούν να διακριθούν σε δύο ευρύτερες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και τα κίνητρα που χρησιμοποιούν [97][100]:

- i) Προγράμματα Απόκρισης Ζήτησης βασισμένα στην τιμή (Price-based DR Programs): Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τιμολόγια με διαφορετική χρέωση κατά τη διάρκεια του χρόνου, ώστε να αντισταθμίζουν το κόστος παραγωγής. Στα προγράμματα αυτά AZ δεν είναι υποχρεωτική η απόκριση των καταναλωτών. Δηλαδή, οι καταναλωτές ανάλογα με τις ανάγκες τους, δύνανται να μην ανταποκρίνονται στις αντίστοιχες χρεώσεις. Έτσι, οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος, εάν ρυθμίσουν το χρόνο της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για να επωφεληθούν από τις περιόδους όπου οι τιμές είναι χαμηλότερες και να αποφύγουν την κατανάλωση όταν οι τιμές είναι υψηλότερες. Τα προγράμματα αυτής της κατηγορίας βασίζονται στη δυναμική τιμολόγηση και απευθύνονται σε πελάτες που επιθυμούν να προσαρμόσουν το πρότυπο κατανάλωσής τους, με βάση το κόστος της ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Στην κατηγορία αυτήν υπάρχουν τρία βασικά είδη προγραμμάτων [92][97]:

- Time-Of-Use (TOU) (Χρέωση χρόνου χρησιμοποίησης): Βασίζεται σε διαφορετική τιμολόγηση του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Διαφορετικοί συντελεστές χρέωσης ισχύουν για κάθε χρονολογική ζώνη (συνήθως σε περίοδο αιχμής και περίοδο εκτός αιχμής), αντικατοπτρίζοντας το μέσο κόστος παραγωγής και διανομής του ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια κάθε ζώνης. Εκτός από την ημερήσια διακύμανση, υπάρχουν και διαφορετικά τιμολόγια ανά εποχή (αντικατοπτρίζοντας την εποχιακή επίδραση στους ενεργειακούς πόρους, π.χ. διαθέσιμη υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια, κ.λπ.) του έτους και συνήθως προκαθορίζονται μερικούς μήνες ή έτη πριν από την εφαρμογή τους. Η χρήση αυτών των τιμολογίων είναι ευρέως διαδεδομένη σε μεγάλους εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές.
- Real Time Pricing (RTP) (Κοστολόγηση σε πραγματικό χρόνο): Η τιμή του ηλεκτρισμού αλλάζει ωριαία ανταποκρινόμενη στην ωριαία διακύμανση του κόστους παραγωγής. Υπάρχει επικοινωνία πραγματικού χρόνου μεταξύ προμηθευτή και καταναλωτή. Πρόκειται για πλήρες δυναμικό τιμολόγιο. Οι πελάτες ενημερώνονται για τις τιμές μια ώρα ή μια μέρα πριν την εφαρμογή τους.
- Critical Peak Pricing (CPP) (Κοστολόγηση κρίσιμων αιχμών): Η τεχνική αυτή είναι συνδυασμός των παραπάνω και περιλαμβάνει μια βασική TOU τιμολόγηση, ενώ σε περιπτώσεις υψηλής αιχμής (όταν απειλείται η αξιοπιστία του δικτύου ή όταν οι τιμές παροχής ηλεκτρισμού είναι πολύ υψηλές) εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση στην κανονική μέγιστη τιμή. Ο καταναλωτής ενημερώνεται μια μέρα πριν για την εφαρμογή της επιπλέον χρέωσης. Συνάπτεται συμβόλαιο για τον αριθμό των ημερών που θα λάβει χώρα η επιπλέον χρέωση. Ως ανταμοιβή οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα έχουν έκπτωση για κατανάλωση σε ώρες εκτός αιχμής. Έχουν προταθεί διάφορες παραλλαγές του τιμολογίου CPP μερικές από τις οποίες είναι οι ακόλουθες [92][101][102][103][104]:
 - Critical Peak Rebate (CPR): Το τιμολόγιο CPR μοιάζει με το CPP όμως αντί να υπάρχει επιπλέον χρέωση σε περιόδους αιχμής, οι καταναλωτές ανταμείβονται ανάλογα με το πόσο μειώνουν την κατανάλωσή τους στις ώρες υψηλής αιχμής. Τα προγράμματα αυτά γίνονται πιο εύκολα αποδεκτά από τους καταναλωτές γιατί δεν συνδέονται με την έννοια της ποινής όπως στα προγράμματα CPP, δεν έχει ωστόσο εφαρμοστεί ακόμη σε μεγάλο εύρος καθώς αποτελεί καινούργια στρατηγική.
 - Extreme Day Pricing (EDP): Στην τιμολόγηση αυτού του είδους εφαρμόζεται μια επιπλέον χρέωση στις ώρες υψηλής αιχμής όπως στα CPP, όμως η αυξημένη αυτή τιμή ισχύει για όλη την ημέρα χωρίς να έχουν ενημερωθεί οι καταναλωτές την προηγούμενη ημέρα.
 - Extreme Day CPP (ED-CPP): Εδώ εφαρμόζονται δύο επίπεδα αυξημένων χρεώσεων για ώρες εντός και εκτός αιχμής κατά τη διάρκεια των επικίνδυνων για το δίκτυο ημερών. Ωστόσο τις υπόλοιπες ημέρες η τιμολόγηση του ηλεκτρισμού δεν έχει διακυμάνσεις.

- Fixed price CPP (CPP-F): Στο τιμολόγιο αυτό, οι καταναλωτές είναι ενήμεροι για την ακριβή διάρκεια των κρίσιμων περιόδων, αλλά δεν γνωρίζουν εξαρχής την ακριβή ημέρα.
 - Variable period CPP (CPP-V): Σύμφωνα με τις χρεώσεις CPP-V, καμία πληροφορία σχετικά με α) τις ημέρες, β) τη διάρκεια και γ) την ώρα έναρξης των κρίσιμων περιόδων παρέχεται εκ των προτέρων στους καταναλωτές.
 - Variable Peak Pricing (VPP): Το τιμολόγιο VPP προβλέπει προκαθορισμένες χρεώσεις σε περιόδους αιχμής και μη. Ωστόσο οι χρεώσεις σε περιόδους αιχμής υπολογίζονται με βάση τις ημερήσιες τιμές της ΑΧΠ προκειμένου να διατηρείται η σύνδεσή της με την Αγορά Λιανικής.
- ii) Προγράμματα Απόκρισης Ζήτησης βασισμένα σε κίνητρα (Incentive-based DR Programs): Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει προγράμματα που προσφέρονται στους καταναλωτές μέσω συμβολαίων και σχεδιάζονται από φορείς λήψης αποφάσεων, χειριστές του δικτύου, παρόχους και προμηθευτές. Στόχος των προγραμμάτων που ανήκουν στην κατηγορία αυτήν είναι να περιορίσουν τη ζήτηση σε κρίσιμες περιόδους για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προγράμματα παρέχουν οικονομικά κίνητρα (σταθερά ή μεταβαλλόμενα) για τη μεταβολή της ζήτησης. Σε αυτήν την κατηγορία, οι καταναλωτές υποχρεούνται να ανταποκριθούν όταν τους ζητηθεί και σε περίπτωση που δεν το κάνουν, τιμωρούνται με οικονομικές ποινές. Για την αποτίμηση της εξοικονόμησης φορτίου, σε κάθε καταναλωτή αντιστοιχίζεται μία βασική κατανάλωση ενέργειας και αποκλίσεις από αυτήν την κατανάλωση αντιστοιχούν σε απόκριση του καταναλωτή στο πρόγραμμα. Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν τα ακόλουθα είδη προγραμμάτων [97]:
- Direct Load Control (DLC) (Άμεσος έλεγχος του φορτίου): Στο πρόγραμμα του άμεσου ελέγχου, ο διαχειριστής του προγράμματος μπορεί να διακόψει τη λειτουργία κάποιων φορτίων (κλιματιστικά, θερμοσίφωνες) απομακρυσμένα, μετά από σύντομη ειδοποίηση του καταναλωτή. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα επωφελούνται με μειώσεις στους λογαριασμούς τους. Τα προγράμματα άμεσου ελέγχου των φορτίων απευθύνονται κυρίως σε οικιακούς ή μικρούς εμπορικούς καταναλωτές.
 - Interruptible/Curtailable programs (I/C) (Προγράμματα αποκοπής): Πρόκειται για προγράμματα αποκοπής φορτίου. Οι συμμετέχοντες σε τέτοιου είδους προγράμματα έχουν έκπτωση στους λογαριασμούς, αλλά η συμμετοχή τους στη μείωση του φορτίου σε προκαθορισμένες τιμές είναι υποχρεωτική. Ο πάροχος μπορεί να ζητήσει αποκοπή φορτίου σε κρίσιμες για το σύστημα καταστάσεις και μπορούν να τεθούν ποινές σε περίπτωση μη αποκοπής. Τέτοια προγράμματα προσφέρονται κυρίως σε μεγάλους βιομηχανικούς ή εμπορικούς καταναλωτές.
 - Demand Bidding/Buyback Programs (Προγράμματα προσφορών): Πρόκειται για προγράμματα προσφορών που ενθαρρύνουν τον καταναλωτή να προσφέρει μείωση του φορτίου του σε μια αγορά χονδρικής στην τιμή στην οποία θέλουν και προγράμματα που δίνουν τη δυνατότητα στους καταναλωτές να αποφασίσουν το μέγεθος του φορτίου που θα αποκόψουν σε μια συγκεκριμένη τιμή. Σε περίπτωση που η προσφορά ενός πελάτη γίνει δεκτή και η μείωση φορτίου δεν πραγματοποιηθεί εφαρμόζονται κυρώσεις.
 - Emergency Demand Response Programs (Προγράμματα επείγουσας ανάγκης): Αναφέρονται σε προγράμματα επείγουσας ανάγκης που προσφέρουν κίνητρα μέσω πληρωμών προς τους πελάτες για μειώσεις φορτίων σε κρίσιμες περιόδους για την αξιοπιστία του δικτύου. Και εδώ υπάρχουν ποινές σε περίπτωση μη ανταπόκρισης των πελατών.
 - Capacity Market Programs (Προγράμματα αγοράς ισχύος): Πρόκειται για προγράμματα αγοράς ισχύος που προσφέρονται σε καταναλωτές που μπορούν να εγγυηθούν εκ των προτέρων για συγκεκριμένη μείωση φορτίου σε κρίσιμες καταστάσεις. Ενημέρωση των καταναλωτών γίνεται μια ημέρα νωρίτερα. Σε αυτήν την κατηγορία προγραμμάτων οι πελάτες υπόκεινται σε αυστηρές ποινές αν δεν ανταποκριθούν.

- Ancillary Services Market Programs (Προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών): Τα προγράμματα αγοράς βοηθητικών υπηρεσιών δίνουν τη δυνατότητα στους πελάτες να προσφέρουν περικοπές φορτίου στους διαχειριστές του συστήματος. Εφόσον οι προσφορές γίνουν αποδεκτές, πληρώνονται στην τιμή της αγοράς, ώστε να βρίσκονται σε ετοιμότητα σε περίπτωση που χρειαστεί η αποκοπή του συμφωνηθέντος φορτίου.

7.6.2.4 Απόκριση Ζήτησης και Έξυπνα Δίκτυα

Οι εφαρμογές των Έξυπνων Δικτύων βελτιώνουν την ικανότητα τόσο των παραγωγών όσο και των καταναλωτών να επικοινωνούν μεταξύ τους και να παίρνουν αποφάσεις σχετικά με το πώς και πότε να παράγουν και να καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια.

Η αναδυόμενη τεχνολογία των Smart Grids θα επιτρέψει στους καταναλωτές να μεταβαίνουν από μία Απόκριση Ζήτησης βασισμένη σε γεγονότα (Event based Demand Response), όπου η εταιρεία παραγωγής απαιτεί την απόρριψη φορτίου, σε μία πιο συνεχή Απόκριση Ζήτησης, όπου ο πελάτης βλέπει τα κίνητρα ελέγχου του φορτίου του όλο το 24ωρο. Παρόλο που αυτή η αμφίδρομη επικοινωνία αυξάνει τις ευκαιρίες για Demand Response, οι καταναλωτές είναι ακόμα διστακτικοί στο να αφήσουν τις συσκευές τους υπό τον πλήρη έλεγχο των παραγωγών.

Οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν την Απόκριση Ζήτησης είναι κατά βάση τεχνολογίες Smart Grid, καθώς περιλαμβάνουν προϊόντα και υπηρεσίες που βοηθούν στην ενεργητική παρακολούθηση και στον δυναμικό έλεγχο της χρήσης του ηλεκτρισμού.

Οι «έξυπνοι» μετρητές αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ανάδειξη των οφελών του DR. Οι συμβατικοί μετρητές καθορίζουν το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει καταναλωθεί. Για εφαρμογές DR απαιτούνται διατάξεις που να μετρούν και το ποσό που έχει εξοικονομηθεί. Οι ευφυείς μετρητές επιτρέπουν τις μετρήσεις σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα (15, 30 ή 60 λεπτών), κάτι που είναι σημαντικό στο να σταλούν μηνύματα για τις τιμές ανάλογα με την ώρα χρήσης του ηλεκτρισμού στους καταναλωτές και με αυτόν τον τρόπο να τους ενθαρρύνουν, ώστε να μετατοπίσουν τη χρήση αυτή από μια ώρα σε άλλη.

Άλλες «έξυπνες» τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην Απόκριση Ζήτησης είναι οι έξυπνοι θερμοστάτες, τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης, τα δυναμικά αποθηκευτικά συστήματα και οι δυναμικοί έλεγχοι του φωτισμού.

Τόσο οι «έξυπνοι» μετρητές όσο και οι υπόλοιπες «έξυπνες» τεχνολογίες επιτρέπουν την παροχή νέας και καλύτερης πληροφόρησης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους παραγωγούς και τους καταναλωτές. Αυτή η πληροφόρηση παρουσιάζεται στους καταναλωτές μέσω συσκευών εγκατεστημένων στο χώρο τους και τους βοηθά να εντοπίζουν και να κατανοούν καλύτερα τη χρήση του ηλεκτρισμού που καταναλώνουν.

Τα Έξυπνα Δίκτυα αυξάνουν τις ευκαιρίες για Απόκριση Ζήτησης παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο τόσο στους παραγωγούς όσο και στους καταναλωτές, αλλά η κινητήρια δύναμή τους στην πράξη παραμένουν τα οικονομικά και περιβαλλοντικά κίνητρα. Επιπλέον, άλλα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι εφαρμογές του Έξυπνου Δικτύου είναι και τα ακόλουθα:

- Το Έξυπνο Δίκτυο δίνει τη δυνατότητα τιμολόγησης ανάλογα με την ώρα (Time-based). Έτσι, ενώ παραδοσιακά οι καταναλωτές πλήρωναν ένα σταθερό μηνιαίο φόρο ενεργειακής κατανάλωσης, με αυτού του είδους την τιμολόγηση τους δίνεται η δυνατότητα να θέσουν το δικό τους όριο και να προσαρμόσουν τη χρήση τους, για να επωφεληθούν από τις κυμαινόμενες τιμές. Αυτό ίσως απαιτεί τη χρήση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας, ώστε να ελέγχονται οι συσκευές και οι εφαρμογές και μπορεί να συμπεριλαμβάνει οικονομίες κλίμακας.
- Το Έξυπνο Δίκτυο δίνει τη δυνατότητα, κυρίως σε μεγάλους πελάτες με παραγωγή, να παρακολουθείται, να μετατοπίζεται και να εξισορροπείται το φορτίο με έναν τρόπο που να επιτρέπει στον καταναλωτή να αποθηκεύει το φορτίο αιχμής και όχι μόνο να εξοικονομεί kWh και kW/μήνα, αλλά και να έχει τη δυνατότητα να εμπορεύεται ότι έχει

αποθηκεύσει σε μία ενεργειακή αγορά. Αυτό, βέβαια, περιλαμβάνει εξελεγμένα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας, κίνητρα και μία βιώσιμη αγορά εμπορίου.

Συνοψίζοντας, γίνεται κατανοητό το πόσο σημαντική είναι η Απόκριση Ζήτησης που λειτουργεί στα πλαίσια ενός Έξυπνου Δικτύου εξαιτίας της δυνατότητας να βοηθάει στην αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων του συστήματος, όπως είναι η αξιόπιστη ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων κατανεμημένων μονάδων παραγωγής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Για την υλοποίηση αυτού του στόχου, σημαντική προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στην ανάπτυξη προτύπων για να εμπλουτιστεί η διαλειτουργικότητα και οι επικοινωνίες μεταξύ των διαχειριστών του συστήματος, οι πόροι της Απόκρισης Ζήτησης και τα συστήματα που την υποστηρίζουν. Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην περαιτέρω ανάπτυξη των περιπτώσεων χρήσης και σεναρίων για την Απόκριση Ζήτησης, ειδικά όσον αφορά την «Κατανεμόμενη» Απόκριση Ζήτησης (Dispatchable DR) και διάφορες μορφές Δυναμικής Τιμολόγησης (Dynamic Pricing). [107][108]

Συμβατική Απόκριση Ζήτησης	Απόκριση Ζήτησης σε Έξυπνο Δίκτυο
Έλεγχος κυρίως από τον παραγωγό	Δίνει έμφαση στον έλεγχο του καταναλωτή
Εστιάζει σε λίγους τελικούς χρήστες	Οι προηγμένοι μετρητές επιτρέπουν την συμμετοχή όλων των καταναλωτών
Περιορισμένες επιλογές των καταναλωτών	Απεριόριστες επιλογές του καταναλωτή.
Εστιάζει κυρίως σε λιανικές αγορές	Συνδέεται και με την λιανική και με την χονδρική αγορά
Κίνητρα συμμετοχής αποτελούν οι σταθερές πληρωμές συμμετοχής	Κίνητρα συμμετοχής αποτελούν η Δυναμική Τιμολόγηση και οι πληρωμές για περικοπή φορτίου
Έλεγχος κυρίως στη θέρμανση, εξαερισμό και κλιματισμό	Έλεγχος σε όλα τα διαθέσιμα φορτία
Μειωμένη ενσωμάτωση ΑΠΕ	Αυξημένη ενσωμάτωση των ΑΠΕ
Λίγοι πάροχοι	Πολλοί πάροχοι

Πίνακας 7.2: Συγκριτική αξιολόγηση της Συμβατικής Απόκρισης Ζήτησης και της Απόκρισης Ζήτησης στο Έξυπνο Δίκτυο

7.6.2.5 ΑΠΕ και Απόκριση Ζήτησης

Η Απόκριση Ζήτησης υποστηρίζει την ευρύτερη χρήση των ΑΠΕ. Πολλές ανανεώσιμες πηγές είναι διαλείπουσες ή παράγουν ισχύ εκτός της περιόδου αιχμής. Για παράδειγμα, μεγάλο μέρος του αιολικού δυναμικού δεν είναι διαθέσιμο σε περιόδους αιχμής μέσα στην ημέρα. Η Απόκριση Ζήτησης είναι ειδικά σχεδιασμένη για να διαχειρίζεται και να μειώνει τη ζήτηση κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής και έτσι είναι ιδανικό συμπλήρωμα για τον άνεμο και άλλες διαλείπουσες πηγές και μπορεί να συνδράμει στην ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Η Απόκριση Ζήτησης μπορεί να συνεισφέρει στις ανάγκες του δικτύου όταν οι ΑΠΕ που είναι διαθέσιμες ξαφνικά σταματήσουν να είναι. Για παράδειγμα, τον Μάρτιο του 2008 το Τέξας αντιμετώπισε μία ξαφνική πτώση στην αιολική ενεργειακή παραγωγή από 1700MW σε 300MW. Μέσα σε δέκα λεπτά ωστόσο οι διαχειριστές του δικτύου κατάφεραν να μειώσουν 1100MW με τη βοήθεια της Απόκρισης Ζήτησης από την κατανάλωση και απέφυγαν έτσι ένα ευρύ blackout. Το γεγονός ότι η Απόκριση Ζήτησης συμβαδίζει με την ανάπτυξη των ΑΠΕ φαίνεται και από το γεγονός ότι η Ισπανία που αξιοποιεί το αιολικό της δυναμικό με πολλά αιολικά πάρκα άρχισε να αναπτύσσει την Απόκριση Ζήτησης παράλληλα με την αξιοποίηση των ΑΠΕ. [108]

Γενικά, η ανάπτυξη της Απόκρισης Ζήτησης και η ενσωμάτωση ευφυΐας στα δίκτυα είναι δύο βασικά βήματα που θα βοηθήσουν στην περαιτέρω διεύρυνση περισσότερης ανανεώσιμης ενέργειας, ενώ παράλληλα θα διατηρηθεί και θα βελτιωθεί η αξιοπιστία.

7.6.2.6 Μειονεκτήματα από την εφαρμογή της Απόκρισης Ζήτησης

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η υιοθέτηση και η υλοποίηση των προγραμμάτων Απόκρισης Ζήτησης αφορούν κυρίως τις δαπάνες για την υλοποίηση των προγραμμάτων DR. Οι δαπάνες αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες [97][98]:

- i) Δαπάνες που αφορούν τους συμμετέχοντες: Οι καταναλωτές που αναλαμβάνουν να μειώσουν το φορτίο τους, θα επιβαρυνθούν με δύο κατηγορίες δαπανών:
- Αρχικές δαπάνες για την ΑΖ: Αυτές οι δαπάνες αφορούν τα έξοδα με τα οποία επιβαρύνεται ο καταναλωτής προτού αναλάβει μία συγκεκριμένη συμπεριφορά ή δράση ΑΖ. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν το σχεδιασμό μιας στρατηγικής απόκρισης φορτίου που λαμβάνει υπόψη της τα κόστη και τα οφέλη και επενδύει σε δυνατές τεχνολογίες με στόχο να συνδράμουν στην απόκριση του φορτίου. Οι δυνατές αυτές τεχνολογίες περιλαμβάνουν συσκευές, όπως π.χ. «έξυπνους» θερμοστάτες, έλεγχοι των αιχμών του φορτίου, έλεγχος διαχείρισης ενέργειας ή συστήματα πληροφοριών πλήρως ενσωματωμένα στις δραστηριότητες των πελατών της επιχείρησης και επιτόπου γεννήτριες που χρησιμοποιούνται ως εφεδρεία στο δίκτυο. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό ζήτημα αποτελεί και η εκπαίδευση των καταναλωτών οι οποίοι θα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζονται τις παραπάνω τεχνολογίες.
 - Τρέχουσες δαπάνες για την ΑΖ: Αυτές οι δαπάνες πραγματοποιούνται από τους πελάτες όταν ανταποκρίνονται σε γεγονότα υψηλών τιμών ή Απόκρισης Ζήτησης του προγράμματος. Αυτές οι δαπάνες μπορεί να είναι μετρήσιμα οικονομικά έξοδα (π.χ. αναδιάρθρωση εξόδων, όπως οι αμοιβές της υπερωριακής απασχόλησης, το κόστος των καυσίμων και της συντήρησης από λειτουργία επιτόπου παραγωγής, κ.ά.) ή πιο αφηρημένα μέτρα που αφορούν την αξία της ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. αναστάτωση που σχετίζεται με τη μείωση του φορτίου).
- ii) Δαπάνες που αφορούν το σύστημα: Οι δαπάνες που αφορούν ολόκληρο το σύστημα διακρίνονται και αυτές σε δύο κατηγορίες δαπανών:
- Αρχικές δαπάνες για την ΑΖ: Οι δαπάνες αυτές προκύπτουν από το κόστος αναβάθμισης του συστήματος μέτρησης/επικοινωνίας, τις δαπάνες για τον εξοπλισμό και το λογισμικό των οργανισμών κοινής ωφέλειας, καθώς και το κόστος της εκπαίδευσης των καταναλωτών.
 - Τρέχουσες δαπάνες για την ΑΖ: Οι δαπάνες αυτές προκύπτουν από τη διαχείριση και την αξιολόγηση του προγράμματος, το μάρκετινγκ, την πρόσληψη ατόμων, τις πληρωμές στους συμμετέχοντες πελάτες και την υποδομή μέτρησης/επικοινωνίας.

Παρά τα όσα μειονεκτήματα παρουσιάζει η Απόκριση Ζήτησης, η εφαρμογή της όμως θα αποφέρει πολύ περισσότερα οφέλη τόσο στους καταναλωτές, στους παρόχους όσο και στο ευρύτερο κοινωνικό σύνολο.

Είδος κόστους		Κόστος	Μηχανισμός ευθύνης/ανάκτησης
Κόστος συμμετέχοντα	Αρχικά κόστη	Ενεργοποίηση επενδύσεων σε τεχνολογία	Ο πελάτης πληρώνει. Τα κίνητρα είναι διαθέσιμα από δημόσιες παροχές ή προγράμματα ΑΖ των οργανισμών κοινής ωφέλειας προκειμένου να αντισταθμίσουν μέρος του κόστους.
		Εγκαθίδρυση ενός σχεδίου ή μιας στρατηγικής απόκρισης	Ο πελάτης πληρώνει. Η τεχνική βοήθεια είναι διαθέσιμη από δημόσιες παροχές ή προγράμματα ΑΖ των οργανισμών κοινής ωφέλειας.
	Έξοδα συγκεκριμένου γεγονότος	Έξοδα άνεσης/ταλαιπωρίας	Ο πελάτης αναλαμβάνει «κόστη ευκαιρίας» της απώλειας χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.
		Μειωμένη άνεση/απώλεια επιχείρησης	
		Αναδιάρθρωση εξόδων (π.χ. υπερωρία)	
		Κόστος καυσίμων/συντήρησης	

Κόστη συστή-ματος	Αρχικά κόστη	Αναβάθμιση του συστήματος μέτρησης/επικοινωνίας	Το επίπεδο του κόστους και το κόστος ευθύνης ποικίλλουν ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της κατανάλωσης (π.χ. μεγάλοι πελάτες έναντι μαζικής αγοράς), την περίπτωση της επιχείρησης κοινής ωφέλειας για προηγμένο σύστημα μέτρησης ή αναβαθμίσεων και την κρατική νομοθεσία και πολιτική.
		Κόστος εξοπλισμού και λογισμικού των οργανισμών κοινής ωφέλειας/Αναβάθμιση του συστήματος τιμολόγησης	Η επιχείρηση κοινής ωφέλειας συνήθως περνά το κόστος στους πελάτες με τιμές.
		Εκπαίδευση καταναλωτών	Φορολογούμενοι, κονδύλια δημόσιων παροχών.
	Τρέχουσες δαπάνες προγράμματος	Διαχείριση προγράμματος	Δαπάνες πραγματοποιούνται από τον χορηγούντα οργανισμό κοινής ωφέλειας, από το LSE ή το ISO/RTO και ανακτώνται από τους φορολογούμενους.
		Μάρκετινγκ/Προσλήψεις	
		Πληρωμές στους συμμετέχοντες πελάτες	
		Αξιολόγηση προγράμματος	
		Μέτρηση/Επικοινωνία	

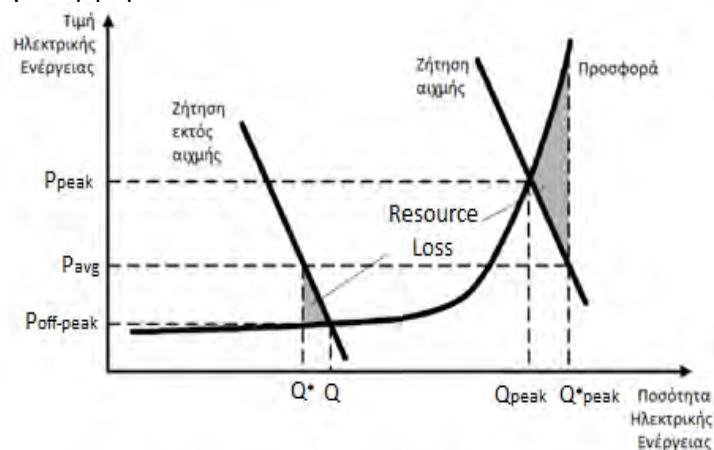
Πίνακας 7.3: Τα κόστη της Απόκρισης Ζήτησης

7.6.2.7 Οφέλη της χρήσης της Απόκρισης Ζήτησης

Τα οφέλη που σχετίζονται με την εφαρμογή των προγραμμάτων Απόκρισης Ζήτησης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες [97]:

- i) Άμεσα οφέλη: Τα οφέλη αυτά αφορούν τους καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα DR και είναι δυνατή η ποσοτικοποίησή τους σε χρηματικούς όρους. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σ' αυτά τα προγράμματα, το κάνουν γιατί τους δίνονται ως κίνητρο τόσο οικονομικά οφέλη όσο και οφέλη αξιοπιστίας:
 - Οικονομικά οφέλη: Τα οικονομικά οφέλη για τους καταναλωτές είναι οι μειώσεις στους λογαριασμούς τους και τα χρήματα που κερδίζουν εξ' αιτίας των πληρωμών-κινήτρων που τους παρέχονται, όταν προσαρμόζουν τη ζήτησή τους σε διαφορετικές τιμές ηλεκτρισμού ανάλογα με την ώρα. Έτσι, σε κάποιες περιπτώσεις οι καταναλωτές πληρώνονται για τη συμμετοχή τους σε ένα πρόγραμμα ή απολαμβάνουν χαμηλότερες τιμές για αύξηση της κατανάλωσης σε περιόδους εκτός αιχμής. Τα προγράμματα Απόκρισης Ζήτησης βοηθούν τους καταναλωτές ώστε να καταλάβουν και να διαχειρίζονται καλύτερα τις ανάγκες τους και να μειώνουν με αυτόν τον τρόπο τους λογαριασμούς τους.
 - Οφέλη αξιοπιστίας: Τα οφέλη αξιοπιστίας είναι η λειτουργική ασφάλεια, καθώς η Απόκριση Ζήτησης μειώνει την πιθανότητα να γίνονται ξαφνικές διακοπές και μειώνει τον κίνδυνο απώλειας υπηρεσίας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
- ii) Έμμεσα οφέλη: Η Απόκριση Ζήτησης, εξ' αιτίας των επιπτώσεών της στο κόστος προσφοράς και στην αξιοπιστία του συστήματος, παράγει και έμμεσα οφέλη, τα οποία αφορούν τους περισσότερους ή όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας και τα οποία είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Τα έμμεσα οφέλη διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:
 - Βραχυπρόθεσμη επίδραση στην αγορά: Βραχυπρόθεσμα, προκύπτουν άμεσα και μετρήσιμα οικονομικά οφέλη για το σύνολο της κοινωνίας. Πρόκειται για τη μείωση του μεταβλητού κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της αποτελεσματικότερης χρήσης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποδοτικότερη χρήση των πόρων επιτρέπει καλύτερες διασυνδέσεις μεταξύ

λιανικών τιμών και οριακού κόστους προμήθειας ενέργειας, το οποίο οδηγεί σε βραχυπρόθεσμες μειώσεις λογαριασμών. Η Απόκριση Ζήτησης μειώνει το χάσμα μεταξύ του χρονικά μεταβαλλόμενου κόστους προμήθειας και της λιανικής τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία βασίζεται στο μέσο κόστος παραγωγής. Η καμπύλη προσφοράς ενέργειας τείνει να αυξάνεται πολύ απότομα, καθώς η ζήτηση προσεγγίζει τη μέγιστη εγκατεστημένη δυναμικότητα του συστήματος και κάθε πρόσθετη αύξηση της ζήτησης επιβάλλει όλο και περισσότερο κόστος από ότι η προηγούμενη. Με άλλα λόγια, το οριακό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται πιο ευαίσθητο στις μεταβολές της ζήτησης, όταν η ζήτηση είναι ήδη υψηλή. Η αποτελεσματικότερη τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται από την τομή των καμπυλών προσφοράς και ζήτησης (Διάγραμμα 7.13). Δηλαδή, κατά τη διάρκεια της εκτός αιχμής περιόδου, η αποτελεσματική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ισούται με την P_{off} , ενώ κατά τις ώρες αιχμής με την P_{peak} . Όμως, οι περισσότεροι καταναλωτές πληρώνουν τιμολόγια που απεικονίζουν το μέσο κόστος ενέργειας P_{avg} . Η δυνατότητα της Απόκρισης Ζήτησης να οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές χρέωσης στηρίζεται στην εκθετική αύξηση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω της διαχείρισης της κατανάλωσής τους, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, μία μικρή μείωση της ζήτησης σε κρίσιμες περιόδους μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη μείωση του κόστους παραγωγής με αποτέλεσμα σημαντική πτώση στη τιμολόγηση.



Διάγραμμα 7.13: Η ανεπάρκεια του μέσου όρου τιμολόγησης

- Μακροπρόθεσμη επίδραση στην αγορά: Μακροπρόθεσμα, η μείωση της αιχμής ζήτησης σε μία αγορά, μπορεί να μετατοπίσει την ανάγκη για τη δημιουργία πρόσθετων μονάδων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Σταδιακά, αυτές οι αποταμιεύσεις μπορεί να περάσουν και στους λιανικούς πελάτες σαν μειώσεις στους λογαριασμούς.
 - Οφέλη αξιοπιστίας: Τα οφέλη αξιοπιστίας που προκύπτουν αφορούν τη μειωμένη πιθανότητα να γίνονται αναγκαστικές διακοπές της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και στη διαθεσιμότητα διαφόρων πόρων προκειμένου να διατηρηθεί η αξιοπιστία.
- iii) Άλλα οφέλη: Η ΑΖ μπορεί να προσφέρει πολλά άλλα οφέλη που αφορούν τους περισσότερους ή όλους τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τους διαχειριστές του συστήματος. Τα οφέλη αυτά, τα οποία είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, είναι τα εξής:
- Πιο ισχυρές λιανικές αγορές: Στις ανταγωνιστικές λιανικές αγορές κάποια προγράμματα παρέχουν καινοτομία και ανταγωνισμό.
 - Βελτιωμένες αγορές: Η ΑΖ παρέχει ενισχυμένες επιλογές στους πελάτες και στον διαχειριστή του συστήματος να επιλέγουν οι ίδιοι τον βαθμό αντιστάθμισης. Επιπλέον, η ΑΖ δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να διαχειρίζονται τα ενεργειακά τους κόστη.

- Οφέλη στην επίδοση της αγοράς: Η ΑΖ μπορεί να διαδραματίσει έναν ακόμα σημαντικό ρόλο όσον αφορά την επίδραση της αγοράς, καθώς η ελαστική ζήτηση μειώνει την υπεροχή στην αγορά, ενώ η ΑΖ αποτρέπει την υπεροχή στην αγορά.
- Περιβαλλοντικά οφέλη: Η ΑΖ μπορεί να προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη λόγω των μειωμένων εκπομπών ρύπων από εργοστάσια που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις περιόδους αιχμής.
- Ενεργειακή ανεξαρτησία/ασφάλεια: Η ΑΖ παρέχει οφέλη αξιοπιστίας και ασφάλειας, καθώς η τοπικότητα των πόρων παρέχει ανεξαρτησία και δεν υπάρχει ανάγκη εξωτερικής ενεργειακής παροχής.

Είδος οφέλους	Αποδοχείς οφέλους	Όφελος		Περιγραφή/Πηγή
Άμεσα οφέλη	Οι πελάτες που εφαρμόζουν την ΑΖ	Οικονομικά οφέλη		-Εξοικονόμηση στους λογαριασμούς. -Πληρωμές στο πλαίσιο της πολιτικής παροχής κινήτρων.
		Οφέλη αξιοπιστίας		-Μειωμένη έκθεση σε ξαφνικές διακοπές. -Ευκαιρία βοήθειας που μειώνει τον κίνδυνο διακοπών.
Έμμεσα οφέλη	Μερικοί ή όλοι οι καταναλωτές	Επίδραση στην αγορά	Βραχυπρόθεσμα	-Αποδοτική μείωση του οριακού κόστους/τιμής κατά την διάρκεια γεγονότων. -Βραχυπρόθεσμη επίδραση στις απαιτήσεις ισχύος του συστήματος.
			Μακροπρόθεσμα	-Αποφυγή (ή αναβολή) κόστους ισχύος. -Αποφυγή (ή αναβολή) του κόστους αναβάθμισης του δικτύου διανομής και μεταφοράς. -Μειωμένη ανάγκη για παρεμβάσεις στην αγορά (π.χ. καπέλα).
		Οφέλη αξιοπιστίας		-Μειωμένη πιθανότητα και συνέπειες αναγκαστικών διακοπών. -Διαθεσιμότητα διαφόρων πόρων για τη διατήρηση της αξιοπιστίας.
Άλλα οφέλη	-Μερικοί ή όλοι οι καταναλωτές -Οι διαχειριστές του συστήματος	Πιο ισχυρές λιανικές αγορές		-Κάποια προγράμματα παρέχουν καινοτομία και ανταγωνισμό στις λιανικές αγορές.
		Βελτιωμένες επιλογές		-Οι πελάτες και ο διαχειριστής έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν τον βαθμό αντιστάθμισης. -Δυνατότητα επιλογής στους καταναλωτές να διαχειρίζονται τα ενεργειακά τους κόστη.
		Οφέλη στην επίδοση της αγοράς		-Η ελαστική ζήτηση μειώνει την υπεροχή της αγοράς. -Η ΑΖ αποτρέπει την υπεροχή της αγοράς.
		Περιβαλλοντολογικά οφέλη		-Μειωμένες εκπομπές ρύπων σε συστήματα με πολύ ρυπογόνα εργοστάσια που λειτουργούν σε ώρες αιχμής.
		Ενεργειακή ανεξαρτησία/ασφάλεια		-Η τοπικότητα των πόρων παρέχει ανεξαρτησία και μη αναγκαιότητα εξωτερικής ενεργειακής παροχής.

Πίνακας 7.4: Οφέλη Απόκρισης Ζήτησης

7.7 Διάκριση των εννοιών DSM και DR

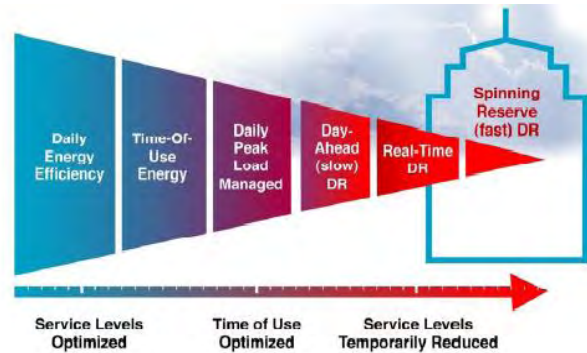
Η έννοια της Διαχείρισης Ζήτησης (Demand Side Management, DSM) είναι πιο γενική έννοια και περιλαμβάνει την έννοια της Απόκρισης Ζήτησης (Demand Response, DR). Η διαφοροποίηση των δύο εννοιών είναι αρκετά δύσκολη. Ωστόσο υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που τις διαχωρίζουν:

- Τα προγράμματα DSM ενθαρρύνουν τον καταναλωτή να χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια πιο αποδοτικά με στόχο την εξοικονόμηση σε όλες τις περιόδους. Κάποιες ενέργειες που μπορούν να γίνουν από την πλευρά του καταναλωτή είναι η ενεργειακή αναβάθμιση της κατοικίας του, η αντικατάσταση παλαιών συσκευών με καινούργιες υψηλότερης απόδοσης, η χρησιμοποίηση λαμπτήρων φθορισμού αντί για πυρακτώσεως, η κατάλληλη ρύθμιση των θερμοστατών του κλιματιστικού και του θερμοσίφωνα καθώς και απλές κινήσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αντίθεση, τα προγράμματα DR παρακινούν τον καταναλωτή να μειώσει την κατανάλωσή του σε συγκεκριμένες περιόδους (ώρες αιχμής και επείγουσες καταστάσεις για την αξιοπιστία του δικτύου). Αυτό δεν οδηγεί πάντοτε σε συνολική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, αφού συνήθως οι καταναλωτές που αποκρίνονται εκείνες τις ώρες, περικόπτοντας φορτία, μετατοπίζουν την κατανάλωση σε άλλες χρονικές περιόδους μέσα στην ημέρα.
- Η Διαχείριση της Ζήτησης περιλαμβάνει μακροπρόθεσμο σχεδιασμό του φορτίου και τα οφέλη της δεν είναι άμεσα, ενώ η Απόκριση Ζήτησης στοχεύει σε άμεσα αποτελέσματα προβαίνοντας σε βραχυπρόθεσμες και προσωρινές μεταβολές της καμπύλης του φορτίου.
- Οι στρατηγικές DSM έχουν θετική επίδραση στο περιβάλλον, καθώς η μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ορυκτού πλούτου. Αντιθέτως, οι στρατηγικές DR δεν είναι σίγουρο ότι θα έχουν θετική επίδραση στο περιβάλλον, καθώς μπορεί να πρόκειται μόνο για προσωρινές τροποποιήσεις ή για μετατοπίσεις της κατανάλωσης.
- Τα προγράμματα DR έχουν μικρότερο οικονομικό ρίσκο, γι' αυτό και γίνονται πιο εύκολα αποδεκτά από τους καταναλωτές, ενώ τα μέτρα του DSM, τα οποία αναφέρονται σε εξοικονόμηση μέσω αντικατάστασης εξοπλισμού ή ανακαίνισης ενός κτιρίου, απαιτούν αρχικά έξοδα που αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα για τους καταναλωτές.
- Τέλος, ενώ τα προγράμματα DR περιορίζονται στην κατανάλωση ηλεκτρισμού, τα προγράμματα DSM μπορούν να επεκταθούν και σε δράσεις εξοικονόμησης άλλων καταναλώσεων, όπως του νερού.

7.8 Συνεργασία Απόκρισης Ζήτησης και Ενεργειακής Απόδοσης

Η Ενεργειακή Απόδοση και η Απόκριση Ζήτησης παρουσιάζουν αρκετές διαφορές, οι οποίες αφορούν στο τι προσφέρουν, στο πώς επηρεάζουν τον καταναλωτή και στο πώς τον ανταμείβουν. Η μείωση των μεταξύ τους διαφορών και η συνεργασία τους θα μπορούσε να επιφέρει μείωση του κόστους εφαρμογής τους και ορθολογικότερη κατανομή των πόρων. Η συνεργασία αυτή θα είναι ωφέλιμη και για την προώθησή τους στον καταναλωτή, καθώς οι πελάτες μπορεί να είναι περισσότερο δεκτικοί σε ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο Διάγραμμα 7.14 παρουσιάζεται η προτεινόμενη εξέλιξη των επιλογών των πελατών. Ο καταναλωτής θα πρέπει να ξεκινήσει πρώτα με βελτιώσεις «καθημερινής ενεργειακής απόδοσης» για να καταλήξει στην «ταχεία απόκριση ζήτησης». Τα διαδοχικά στάδια, από αριστερά προς δεξιά, παρουσιάζουν όλο και πιο πολύπλοκη λειτουργία Απόκρισης Ζήτησης και απαιτούν πρόσθετες επενδύσεις για την εκτέλεσή τους σε πραγματικό χρόνο.



Διάγραμμα 7.14: Προτεινόμενη εξέλιξη της Ενεργειακής Απόδοσης και της Απόκρισης Ζήτησης [96]

Ο όρος «Daily Energy Efficiency» περιλαμβάνει τόσο τις βραχυπρόθεσμες δράσεις συντηρητικής χρήσης ενέργειας όσο και τις μακροπρόθεσμες επενδύσεις στην Ενεργειακή Απόδοση. Παρόλο που είναι επιθυμητό οι πελάτες να προβούν σε όλες τις κατάλληλες επενδύσεις Ενεργειακής Απόδοσης πριν προβούν σε δραστηριότητες Απόκρισης Ζήτησης, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό να πραγματοποιηθεί.

Η Ενεργειακή Απόδοση και η Απόκριση Ζήτησης μπορούν να συνεργαστούν στον τομέα της κατανάλωσης παρέχοντας στους καταναλωτές τον καλύτερο τρόπο για να κατανοήσουν, να διαχειριστούν και τελικά να μειώσουν τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνεργασία αυτή μπορεί να εμφανιστεί με τους εξής τρόπους:

- ⇒ Συνδυασμένα προγράμματα προσφορών: Παρέχονται στον πελάτη προγράμματα που συνδυάζουν Ενεργειακή Απόδοση και Απόκριση Ζήτησης. Θα μπορούσε να υπάρξει μία ενιαία χρηματοδότηση ή εκπτώσεις στους καταναλωτές για ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο προγραμμάτων.
- ⇒ Συντονισμένα προγράμματα marketing και εκπαίδευσης: Καθώς απαιτείται προσπάθεια από τους πελάτες και δράση για την εφαρμογή των προγραμμάτων, τα προγράμματα μάρκετινγκ πρέπει να περιλαμβάνουν μια ισχυρή εκπαιδευτική συνιστώσα. Οι επιχειρήσεις ενέργειας και οι οργανισμοί ενέργειας του κράτους μπορούν να προσφέρουν εκπαιδευτικά προγράμματα και για τους δύο κλάδους κάτω από ένα ευρύ θέμα της διαχείρισης της ενέργειας.
- ⇒ Κανονισμοί δόμησης και πρότυπα συσκευών: Η ενσωμάτωση των στρατηγικών και των μέτρων Ενεργειακής Απόδοσης και Απόκρισης Ζήτησης, απευθείας στο σχεδιασμό των κτιρίων και στο σχεδιασμό των συσκευών, οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις της κατανάλωσης ενέργειας των πελατών.

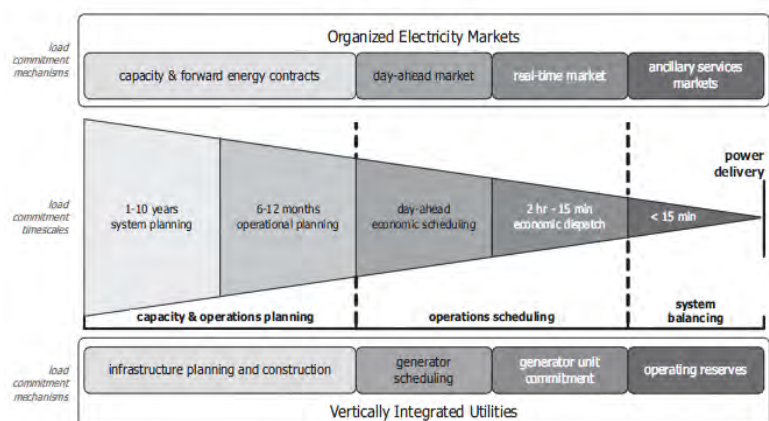
Η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη και ενσωμάτωση της Ενεργειακής Απόδοσης θα έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των τιμολογίων, αλλά και την αναβολή της ανάγκης για νέες μονάδες φορτίου βάσης. Η ενσωμάτωση της Απόκρισης Ζήτησης θα μειώσει ή θα αναβάλλει την ανάγκη για νέες μονάδες κάλυψης φορτίου αιχμής και θα βελτιώσει την αξιοπιστία του συστήματος. Ο αποτελεσματικός τους συνδυασμός είναι ένα αναγκαίο βήμα για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της ενεργειακής διαχείρισης των πόρων. [96]

7.9 Επίδραση της Ενεργειακής Απόδοσης και της Απόκρισης Ζήτησης στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε όλες τις δομές αγοράς, η διαχείριση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό από δύο σημαντικά χαρακτηριστικά της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι αποθηκεύσιμη, απαιτείται η διατήρηση του ισοζυγίου προσφοράς-ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Σε περιπτώσεις μη διατήρησης μπορεί να απειληθεί η ακεραιότητα του ηλεκτρικού δικτύου μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Δεύτερον, η κατασκευή νέων συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μεγάλα και σύνθετα έργα, με αναμενόμενη διάρκεια ζωής αρκετών δεκαετιών. Τα έργα αυτά απαιτούν αρκετά χρόνια για την ανάπτυξη και κατασκευή τους, ώστε τελικά να συνεισφέρουν στην παραγωγή και διανομή ενέργειας.

Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν ένα ευρύ φάσμα χρονοδιαγραμμάτων για τη διαχείριση της ενέργειας. Το φάσμα εκτείνεται από

αρκετά χρόνια ή και δεκαετίες για το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό της παραγωγής έως μερικά δευτερόλεπτα για τη διατήρηση του ισοζυγίου μεταξύ προσφοράς και ζήτησης (Διάγραμμα 7.15).

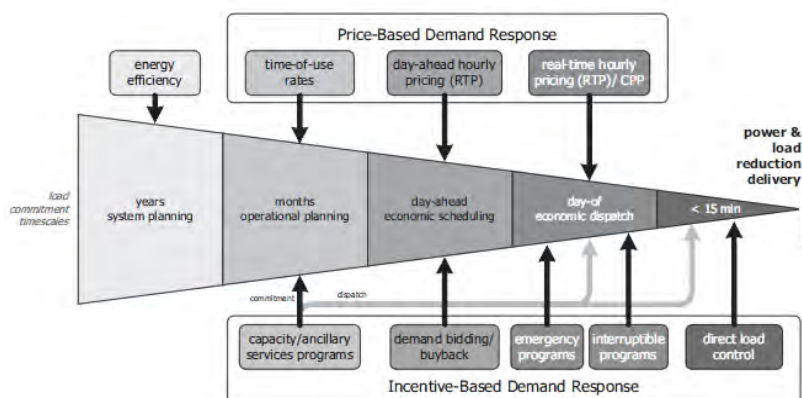


Διάγραμμα 7.15: Σχεδιασμός και προγραμματισμός του ηλεκτρικού συστήματος

Ο «Σχεδιασμός εγκατεστημένης ισχύος» (capacity planning) περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ανάγκης για νέες επενδύσεις (που αφορούν υποδομές της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής) σε πολυετή χρονικό ορίζοντα, ενώ ο «Σχεδιασμός λειτουργίας» (operation planning) περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των διαθέσιμων πόρων για την κάλυψη της αναμενόμενης εποχιακής ζήτησης με χρονοδιάγραμμα μηνών. Ο «Προγραμματισμός λειτουργίας» (operation scheduling) έχει ως στόχο να προσδιορίσει τις μονάδες λειτουργίας που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη της αναμενόμενης βραχυπρόθεσμης ζήτησης. Τέλος, η «Εξισορρόπηση του συστήματος» (system balancing) σχετίζεται με τις λειτουργίες του δικτύου (π.χ. στρεφόμενη εφεδρεία, έλεγχος τάσης, κ.ά.) και γίνεται σε πολύ μικρή κλίμακα του χρόνου.

Η Απόκριση Ζήτησης έχει το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να ενταχθεί σε όλα τα χρονοδιαγράμματα της Διαχείρισης Ζήτησης και να συνδράμει στους μηχανισμούς τιμολόγησης της ενέργειας (Διάγραμμα 7.16). Εάν οι σχεδιαστές της Διαχείρισης Ζήτησης έχουν μία καλή γνώση για το πώς οι πελάτες ανταποκρίνονται στις αλλαγές της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, τα «Προγράμματα DR βασισμένα στην τιμή» (Price-Based DR) μπορούν να ενσωματωθούν σε διάφορα στάδια του χρονοδιαγράμματος. Τα τιμολόγια «TOU» μπορούν να ενσωματωθούν ως μέρος του σχεδιασμού λειτουργίας σε διάστημα μηνών, ενώ τα τιμολόγια «RTP» στην εξισορρόπηση λειτουργίας με χρονικό ορίζοντα μίας ημέρας. Όμοια, και τα «Προγράμματα βασισμένα σε κίνητρα» (Incentive-Based DR) μπορούν και αυτά να εισαχθούν σχεδόν σε όλα τα χρονοδιαγράμματα της διαχείρισης.

Τέλος, η Ενεργειακή Απόδοση μπορεί και αυτή να ενσωματωθεί ως μέρος του σχεδιασμού του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δημιουργεί μόνιμη μείωση της ζήτησης και εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας. [97]



Διάγραμμα 7.16: Ο ρόλος της Ενεργειακής Απόδοσης και της Απόκρισης Ζήτησης στο σχεδιασμό και στην λειτουργία των ΣΗΕ [97]

Κεφάλαιο 8

Το όραμα ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου

8.1 Η ιδέα ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου

Το φυσικό μελλοντικό στάδιο του Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο που να καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη και να συνδέει τις περισσότερες από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Αυτό το δίκτυο θα ονομάζεται «Global Smart Electricity Grid» [132], δηλαδή «Παγκόσμιο Έξυπνο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας».



Εικόνα 8.1: Απεικόνιση ενός πιθανού Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας [132]

Στην Εικόνα 8.1 απεικονίζεται ένα πιθανό παγκόσμιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το νέο αυτό δίκτυο θα διασυνδέει όλα τα περιφερειακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα. Τα ενδιαφερόμενα μέρη θα είναι σε θέση να «εισέλθουν» στο Παγκόσμιο Δίκτυο και η ισχύς θα μεταδίδεται σχεδόν οπουδήποτε στον κόσμο.

Βασική κινητήρια δύναμη αυτού του Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας θα αποτελούν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ενώ βασικό στοιχείο της υποδομής του θα είναι οι γραμμές μεταφοράς υψηλής χωρητικότητας. Τα αιολικά πάρκα και οι μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας θα παρέχουν τα κέντρα φορτίου με πράσινη ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς υπάρχει μεγάλο αιολικό δυναμικό σε off-shore τοποθεσίες, ενώ οι έρημοι προσφέρουν μεγάλες ευκαιρίες για μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας. Η σύνδεση αυτών των απομακρυσμένων περιοχών με τους τελικούς καταναλωτές θα καταστεί εφικτή μέσω του Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου.

Όσον αφορά τις γραμμές μεταφοράς που θα αποτελέσουν αυτό το μεγάλο δίκτυο, αυτές αναμένεται να είναι γραμμές ή καλώδια υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC), για τρεις κυρίως λόγους:

- i) πρώτα απ' όλα, τα καλώδια HVDC αποτελούν σήμερα τη μόνη λύση για υποβρύχια μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις,
- ii) επιπλέον, οι γραμμές HVDC σε μεγάλες αποστάσεις έχουν χαμηλότερες θερμικές απώλειες σε σύγκριση με τις γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), και
- iii) ο τρίτος λόγος πηγάζει από το γεγονός ότι πρόκειται να συνδεθούν και οι μη-σύγχρονες περιοχές. Τα συστήματα ισχύος σε διάφορες περιοχές λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες τάσης. Η σύζευξη των συστημάτων σε επίπεδο AC θα σήμαινε όχι μόνο την υιοθέτηση μιας παγκόσμιας ονομαστικής συχνότητας, αλλά και ότι κάθε περιφερειακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε πιθανότατα να είναι πιο ευαίσθητο στην αποτυχία του γειτονικού συστήματος. Οι συνδέσεις HVDC μπορούν να χειριστούν τοπικά δυναμικά προβλήματα ασφάλειας και να ενεργούν ως ένα τείχος προστασίας όσον αφορά τις διαταραχές μεταξύ των διασυνδεδεμένων δικτύων.

Στην Εικόνα 8.1, οι μπλε διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τις γραμμές HVDC με μήκος πάνω από 500 χιλιόμετρα που είναι ήδη σε λειτουργία, ενώ οι διακεκομμένες κόκκινες γραμμές αναφέρονται στις γραμμές HVDC άνω των 500 χιλιομέτρων, οι οποίες βρίσκονται στη φάση οικοδόμησης/σχεδιασμού.

Πολλές από τις τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση του Παγκόσμιου Δικτύου είναι ήδη σχετικά ώριμες. Για τις υπόλοιπες, είναι απαραίτητη η ανάπτυξή τους, αλλά δεν αναμένονται σημαντικά εμπόδια από τεχνικής απόψεως. Για παράδειγμα, πρόσθετη εμπειρία μπορεί να είναι απαραίτητη για την πολυτεματική τεχνολογία, η οποία μπορεί να συνδέσει αρκετές γραμμές HVDC σε έναν κόμβο. Επιπλέον, απαιτείται και η ανάπτυξη των υποθαλάσσιων καλωδίων σε μεγάλο βάθος για τη μαζική μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, πρόσθετες τεχνολογικές προκλήσεις για το Παγκόσμιο Δίκτυο, αποτελούν και η περαιτέρω ανάπτυξη των διακοπών του κυκλώματος συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης, τα συστήματα προστασίας και ελέγχου, καθώς και ένα τυποποιημένο επίπεδο λειτουργίας της τάσης. Όσον αφορά το επίπεδο λειτουργίας της τάσης, αναμένουμε ότι ένα σύνολο από δύο ή τρία διαφορετικά επίπεδα τάσης θα απαιτούνταν σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον δικτύου.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, πως η ιδέα ενός τέτοιου παγκόσμιου διασυνδεδεμένου δικτύου φαίνεται να είναι τεχνολογικά εφικτή και οικονομικά ανταγωνιστική. Σίγουρα, οι επενδύσεις που απαιτούνται να γίνουν είναι πάρα πολλές, αλλά τα οφέλη που θα προκύψουν από ένα τέτοιο δίκτυο θα είναι πολυάριθμα.

8.2 Η λειτουργία του

Μέσα στο πλαίσιο του Παγκόσμιου Δικτύου, προκειμένου αυτό να λειτουργεί ομαλά, θα πρέπει οι διάφορες δραστηριότητες μεταξύ των περιφερειακών ρυθμιστικών αρχών να συντονίζονται από ένα συντονιστικό φορέα. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη να δημιουργηθεί ένας νέος φορέας, ο οποίος θα ονομάζεται «Παγκόσμιος Ρυθμιστής». Αυτός θα αναλάβει εποπτικό, κυρίως, ρόλο και οι κύριες αρμοδιότητές του θα είναι να παρέχει ένα forum για την επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, να συντονίζει τις επενδύσεις και να εξασφαλίσει ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον αγοράς.

Κατά την κατασκευή των πρώτων διασυνδέσεων, το Παγκόσμιο Δίκτυο θα μπορούσε να λειτουργήσει με έναν πιο αποκεντρωμένο τρόπο, είτε με άμεσες δημοπρασίες είτε με σύζευξη δύο αγορών μέσω ενός έμμεσου συστήματος δημοπρασιών. Ωστόσο, μόλις το Παγκόσμιο Δίκτυο αποκτήσει μια πιο δικτυωτή μορφή, οι συνθήκες θα είναι πιο ευνοϊκές για τη συγκέντρωση του συντονισμού των εμπορικών συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, στη συνέχεια, για την οργάνωση της παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απαραίτητο να δημιουργηθεί ένας νέος ρυθμιστικός φορέας, που θα ονομάζεται «Διαχειριστής του Παγκόσμιου Συστήματος» και ο οποίος θα μπορούσε να έχει παρόμοιες αρμοδιότητες με αυτές που έχουν ήδη οι υπάρχοντες Ανεξάρτητοι Διαχειριστές του συστήματος.

Όσον αφορά την οργάνωση της παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν δύο πιθανές επιλογές:

- α) Σύμφωνα με την πρώτη επιλογή, η παγκόσμια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να πάρει την μορφή ενός ιεραρχικού μοντέλου της αγοράς, όπου σ' αυτό θα διακρίνονταν το δίκτυο DC από τα υποκείμενα περιφερειακά δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος. Έτσι, μια παγκόσμια αγορά μπορεί να σχηματιστεί, στην οποία κάθε περιφερειακή αγορά θα συμμετέχει ως παίκτης ατομικά. Ο Παγκόσμιος Διαχειριστής του Συστήματος, ως επικεφαλής της παγκόσμιας εξισορρόπησης της αγοράς, θα ανοίξει την αγορά και θα ορίσει τα αντίστοιχα ποσά ενέργειας σε κάθε παίκτη. Εδώ, όλα θα πρέπει να γίνουν με δίκαιο και διαφανή τρόπο, έτσι ώστε οι ροές HVDC να μπορούν να υπολογισθούν. Στη συνέχεια, κάθε περιφερειακή αγορά, υποθέτοντας ως δεδομένη την εισφορά/απορρόφηση των συνδέσμων HVDC, θα λάβει τις προσφορές των τοπικών παραγωγών και καταναλωτών και θα καθορίσει τη δική της αγορά σύμφωνα με τους τοπικούς περιορισμούς. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι δεν χρειάζεται η δομή της κάθε περιφερειακής αγοράς να τροποποιηθεί σημαντικά.
- β) Μια εναλλακτική λύση θα ήταν μια πιο «οριζόντια» λειτουργία της παγκόσμιας αγοράς. Μια παγκόσμια ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να δημιουργηθεί για να διευκολύνει το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας. Οντότητες σε όλο τον κόσμο θα είναι σε θέση να συμμετέχουν σε αυτήν την παγκόσμια αγορά και να παρέχουν προσφορές για προσφορά ή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα χαρακτηριστικό του Παγκόσμιου Δικτύου θα μπορούσε, επίσης, να είναι η συμμετοχή στις αγορές βοηθητικών υπηρεσιών, επιτρέποντας στους χρήστες της να τοποθετήσουν τις προσφορές για την προσφορά ενεργής ή αέργου ισχύος στις περιφερειακές αγορές βοηθητικών υπηρεσιών. Σε αυτό το πλαίσιο, υπάρχει η ανάγκη δημιουργίας μιας Παγκόσμιας Αγοράς Επικουρικών Υπηρεσιών.

Η λειτουργία, όμως, ενός παγκόσμιου διασυνδεδεμένου δικτύου συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης, απαιτεί την αντιμετώπιση και αρκετών άλλων ζητημάτων. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο αγοράς πρέπει να (επανα)σχεδιαστεί για τη σύζευξη του Παγκόσμιου Δικτύου με το υποκείμενο δίκτυο AC. Επιπλέον, πώς θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η τιμολόγηση των πολλαπλών τερματικών κόμβων και πώς θα μπορούσε να κατανεμηθεί η χωρητικότητα των πολλαπλών παράλληλων συνδέσμων HVDC; Η εναρμόνιση των περιφερειακών αγορών, ή, εναλλακτικά, η σύζευξη των διαφόρων δομών της αγοράς θα πρέπει επίσης να διερευνηθούν. Επιπλέον, η ολιγοπωλιακή συμπεριφορά των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον αγοράς θα πρέπει να μελετηθεί: θα διατηρήσουν την αγορά ενέργειας ή το Παγκόσμιο Δίκτυο θα οδηγήσει πιο κοντά στον τέλει ανταγωνισμό;

Όσον αφορά τη λειτουργία της αγοράς με αυξημένη ενσωμάτωση των ΑΠΕ, μια πιο λεπτομερής μελέτη σχετικά με τις διακυμάνσεις των τιμών θα πρέπει να διεξαχθεί. Οι τιμές σε περιόδους αιχμής και εκτός αιχμής δεν μπορούν να καθοδηγούνται από τη διακύμανση της ζήτησης στο μέλλον, αλλά μάλλον από τη διαθεσιμότητα της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι, διαφορετικά πρότυπα των τιμών μπορεί να προκύψουν, τα οποία κατά πάσα πιθανότητα θα εξαρτώνται από την υπολειπόμενη ζήτηση. Παρόλα αυτά, οι παγκόσμιες διασυνδέσεις μπορεί να αυξήσουν την αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού και να επωφεληθούν σημαντικά από τις διακυμάνσεις στην υπολειπόμενη ζήτηση μεταξύ των περιοχών που συνδέουν.

Τέλος, μελετώντας την επίδραση που θα έχει το Παγκόσμιο Δίκτυο όσον αφορά την ασφάλεια, είναι και αυτή μία εξίσου σημαντική πτυχή. Θα πρέπει να εξεταστούν μέθοδοι, οι οποίοι θα προσαρμόσουν τους τρέχοντες μηχανισμούς ελέγχου και ασφάλειας, προκειμένου να επωφεληθούν από το υπερκείμενο δίκτυο HVDC. Για παράδειγμα, πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο η παροχή ελέγχου της ισχύος από τη γραμμή HVDC θα είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του Παγκόσμιου Δικτύου. Την ίδια στιγμή, θα πρέπει επίσης να μελετηθεί η πιθανότητα ενός παγκόσμιου blackout, τα αποτελέσματα που θα έχει, καθώς επίσης και οι μέθοδοι που θα πρέπει να υλοποιηθούν για την πρόληψη ενός τέτοιου περιστατικού.

8.3 Οι επενδύσεις για την υλοποίησή του

Πιθανώς, μία από τις ανησυχίες που επικρατεί όταν κάποιος οραματίζεται ένα Παγκόσμιο Δίκτυο είναι, φυσικά, το κόστος του. Η αναγκαία υποδομή για την υλοποίηση του Παγκόσμιου Δικτύου περιλαμβάνει επενδύσεις της τάξης των δισεκατομμυρίων δολαρίων για κάθε διασύνδεση. Αυτές οι επενδύσεις, ωστόσο, μπορούν να συγκριθούν με τις τρέχουσες επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας. Για παράδειγμα, σύμφωνα με προβλέψεις, η δημιουργία ενός ευρωπαϊκού υπεράκτιου δικτύου που συνδέει ένα μεγάλο αριθμό αιολικών πάρκων στη Βόρεια Θάλασσα, θα κοστίσει περίπου 70-90 δισεκατομμύρια ευρώ. Η παραγωγή ενός πυρηνικού σταθμού στη Φιλανδία έχει ένα εκτιμώμενο κόστος περίπου 4,2 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ το κόστος της βαθύτερης υπεράκτιας πλατφόρμας πετρελαίου στον κόσμο κοστίζει γύρω στα 6,7 δισεκατομμύρια δολάρια. Την ίδια στιγμή, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εκτιμά ότι οι νέες υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας θα απαιτήσουν επενδύσεις που θα κοστίσουν περίπου 140 δισεκατομμύρια ευρώ μέχρι το 2020. Συνολικά, τα ευρωπαϊκά προγράμματα αφορούν επενδύσεις της τάξης του 1 τρισεκατομμυρίου ευρώ για τον ευρωπαϊκό τομέα της ενέργειας, προκειμένου να «καλυφθεί η αναμενόμενη ενεργειακή ζήτηση και να αντικατασταθούν οι πεπαλαιωμένες υποδομές».

Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση του NorNed, μιας γραμμής HVDC που συνδέει την Νορβηγία με την Ολλανδία από το 2008, κατά τους δύο πρώτους μήνες λειτουργίας του δημιουργήθηκαν έσοδα των 50 εκατ. ευρώ, δηλαδή περίπου 12% του επενδεδυμένου κεφαλαίου. Τα έσοδα αυτά μπορεί να μεταφραστούν σε περίπου €0,0556 για κάθε kWh που παραδίδεται. Κατά συνέπεια, έχοντας λάβει υπόψη το κόστος για τα υποβρύχια καλώδια, τα έσοδα για κάθε kWh που παραδίδεται κατά μήκος μιας γραμμής 5.500 χιλιομέτρων, θα υπερβαίνουν από δύο έως και τέσσερις φορές το κόστος της.

Όσον αφορά την υποδομή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν δύο κύριες επενδυτικές επιλογές: (α) η ρυθμιζόμενη επένδυση, η οποία είναι το πιο συνηθισμένο είδος επενδύσεων μετάδοσης, και (β) η εμπορική επένδυση μετάδοσης, η οποία προέκυψε μετά την αναδιάρθρωση του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ευρώπη, οι DC διασυνδέσεις, όπως του NorNed και του BritNed (που συνδέει το Ηνωμένο Βασίλειο με τις Κάτω Χώρες), φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο της εμπορικής επένδυσης μετάδοσης. Επιπλέον, μπορεί να υπάρξει και συνδυασμός αυτών των δύο επενδυτικών μοντέλων, καθώς αυτή η επιλογή προβλέπεται ήδη στους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, EC).

Τα περισσότερα διηπειρωτικά καλώδια μεγάλου μήκους αναμένεται ότι θα υλοποιηθούν στο πλαίσιο ενός καθεστώτος ρυθμιζόμενης επένδυσης. Αρχικά, συγκρίνοντας τις ρυθμιζόμενες επενδύσεις, σε καλώδια μεγάλου μήκους, με τις αντίστοιχες εμπορικές επενδύσεις, οι ρυθμιζόμενες επενδύσεις είναι πιο ευνοϊκές. Παρόλο που τα αναμενόμενα έσοδα από το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με το κόστος ανά παραδοθείσα MWh από ένα υποθαλάσσιο καλώδιο μεγάλου μήκους (π.χ. 5.500 χλμ) θα είναι πιθανώς υψηλότερα, δεν μπορούν ωστόσο να παρέχουν μια ελκυστική ιδιωτική επένδυση σε μια πρώτη φάση. Επιπλέον, καθώς οι παγκόσμιες διασυνδέσεις για τη μετάδοση ισχύος από ΑΠΕ φαίνεται να είναι μια οικονομικά ανταγωνιστική επιλογή, αναμένεται ότι θα πρέπει να υπάρξει αύξηση της κοινωνικής πρόνοιας, καθώς επίσης και να υπάρχει το δικαίωμα για ρυθμιζόμενη επένδυση.

Το καλώδιο, για παράδειγμα, θα μπορούσε να αποτελέσει μία ανταγωνιστική επιλογή για τη συμμετοχή στις καθημερινές επιτόπιες δημοπρασίες, όπου η διαφορά μεταξύ τιμών αιχμής και τιμών εκτός αιχμής υπερβαίνει τα €30/MWh (π.χ. European Power Exchange) και μπορεί να ξεπεράσει τα \$100/MWh (π.χ. PJM Interconnection [6/6/2011]). Οι αγορές επόμενης ημέρας (day-ahead markets) εμφανίζουν μια διαφορά αιχμής και εκτός αιχμής περίπου €20-50/MWh (ανάλογα με την περιοχή συμφόρησης), η οποία αφήνει περιθώρια για μια κερδοφόρα λειτουργία του καλωδίου υπό κάποιους όρους. Μια μακροπρόθεσμη σύμβαση, όμως, για μια τόσο μεγάλη γραμμή, πιθανώς δεν θα σημειώσει κέρδη υπό τις παρούσες συνθήκες. Θα μπορούσε, επομένως, να αναμένεται ότι η ιδιωτική πρωτοβουλία μπορεί να απαιτήσει υψηλότερα περιθώρια κέρδους, ή μικρότερο κίνδυνο, προκειμένου να προβεί σε μια τέτοια επένδυση.

Με την αυξανόμενη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες έχουν ουσιαστικά ένα σχεδόν μηδενικό οριακό κόστος, μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι ευκαιρίες για arbitrage τιμών, θα μπορούσαν να εξαφανιστούν. Πράγματι, αυτό θα μπορούσε να ισχύει και για τις μακροπρόθεσμες συμβάσεις και για τις αγορές προηγούμενης ημέρας. Ωστόσο, καθώς η αβεβαιότητα για την παράδοση της ενέργειας αυξάνεται λόγω της διαλείπουσας φύσης των ΑΠΕ, μεγαλύτεροι όγκοι ενέργειας θα αποτελέσουν αντικείμενο διαπραγμάτευσης στις εξαιρετικά ασταθείς αγορές ενδο-ημερήσιων συναλλαγών με συνεχή διαπραγμάτευση (intra-day markets). Ως εκ τούτου, αναμένεται ότι ένα σημαντικό μέρος των κερδών από τη γραμμή μεταφοράς θα προκύψει από arbitrage στις αγορές ενδο-ημερήσιων συναλλαγών με συνεχή διαπραγμάτευση.

Επιπλέον, οι εμπορικοί επενδυτές θα μπορούσαν να ξεκινήσουν με επιτυχία έργα μικρότερης κλίμακας, τα οποία όχι μόνο θα συμπληρώσουν, αλλά και θα διευκολύνουν το Παγκόσμιο Δίκτυο (π.χ. διαπεριφερειακές διασυνδέσεις HVDC μέχρι 2.000 χιλιομέτρων). Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι η διασύνδεση μεταξύ της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής θα χρηματοδοτηθεί από τα αντίστοιχα κράτη, ανεξάρτητες πρωτοβουλίες θα μπορούσαν να επενδύσουν σε μια γραμμή HVDC μεταξύ του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γαλλίας, ή μεταξύ της Γαλλίας και της Ιταλίας. Αυτές οι μικρότερες διασυνδέσεις θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την ύπαρξη των διηπειρωτικών γραμμών λόγω της εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Βόρεια Αμερική προς την Κεντρική Ευρώπη και το αντίστροφο. Οι ίδιες διασυνδέσεις, επίσης, θα επιτρέψουν την περαιτέρω επέκταση του Παγκόσμιου Δικτύου, δεδομένου ότι οι διασυνδέσεις της Ιταλίας με την Αφρική και τη Μέση Ανατολή θα διευκολυνθούν. Καθώς η ροή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να ακολουθήσει περισσότερες από μία εναλλακτικές διαδρομές, αναμένεται ότι θα υπάρξει μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των γραμμών.

Βέβαια ένας αυξανόμενος αριθμός των διασυνδέσεων θα μπορούσε να μειώσει την αστάθεια των τιμών και, ως εκ τούτου, να αποθαρρύνει επιπλέον εμπορικούς επενδυτές. Από την άλλη πλευρά, ωστόσο, οι μελέτες έχουν δείξει ότι η διασύνδεση του NorNed δεν είχε σημαντική επίδραση στις τιμές κατά τα δύο πρώτα χρόνια της λειτουργίας του, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι μία σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορεί να είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί η μείωση της αστάθειας των τιμών. Όσον αφορά τώρα τις μεγάλες υποβρύχιες διασυνδέσεις του Παγκόσμιου Δικτύου, θα πρέπει να επιτευχθεί και εδώ μία μείωση της αστάθειας των τιμών, αν και αυτό θα ήταν ενδεχομένως αρκετά πιο δύσκολο να συμβεί, λόγω του μεγέθους του δικτύου.

Μια επιλογή για το Παγκόσμιο Δίκτυο θα μπορούσε επίσης να ήταν ένα μίγμα ρυθμιζόμενων και εμπορικών επενδύσεων, ή, εναλλακτικά, ένα σύστημα επιδοτήσεων. Αυτή είναι η περίπτωση για τη διασύνδεση του NordBalt, μεταξύ της Σουηδίας και της Λιθουανίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (European Union, EE) στηρίζει το έργο, με 131 εκατ. ευρώ, σε σύγκριση με το συνολικό προϋπολογισμό των 550 εκατ. ευρώ. Αν υπάρξουν και άλλες τέτοιες παρόμοιες επιδοτήσεις, τότε ίσως θα μπορούν να γίνουν πραγματικότητα οι διασυνδέσεις του Παγκόσμιου Δικτύου.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη ορθών ρυθμιστικών μηχανισμών που θα παρέχουν ευκαιρίες για τους εμπορικούς επενδυτές να αναπτύξουν έργα φαίνεται να είναι μια καλή λύση, αλλά την ίδια στιγμή, μια σημαντική πρόκληση για την έρευνα. Οι ρυθμιστικές -ή μη ρυθμιστικές- επενδύσεις του Παγκόσμιου Δικτύου παραμένουν επίσης μία πρόκληση.

8.4 Τα οφέλη της δημιουργίας ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου

Η δημιουργία ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου που θα στηρίζει την παραγωγή ενέργειάς του στις ΑΠΕ, εκτός από τα οφέλη που θα παρέχει λόγω της ευφυΐας του δικτύου τα οποία έχουμε ήδη αναφέρει (Κεφάλαιο 4), θα παρέχει επιπλέον νέες ευκαιρίες, παρέχοντας έτσι ένα σημαντικό κίνητρο για την επιτυχή υλοποίηση αυτής της ιδέας. Ακολουθεί μία σύντομη ανάλυση των βασικότερων αυτών νέων ευκαιριών που θα προκύψουν:

- Εξομάλυνση προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας: Μια τυπική ημερήσια καμπύλη φορτίου έχει μία ή δύο αιχμές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας γύρω στο

μεσημέρι, ενώ το βράδυ η ζήτηση μπορεί να μειωθεί έως και κατά 50% της ημερήσιας αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν υποθέσουμε μία μεγάλη διείσδυση της αιολικής ενέργειας, ισχυροί άνεμοι κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία δεν μπορεί να απορροφηθεί από το δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση, η «πράσινη» ενέργεια, η οποία δεν μπορεί να αποθηκευτεί, θα χαθεί. Τέτοιες καταστάσεις μπορεί να μετριαστούν ή ακόμα και να εξαφανιστούν, από τις διηπειρωτικές διασυνδέσεις του Παγκόσμιου Δικτύου. Για παράδειγμα, λόγω της διαφοράς ώρας που υπάρχει, όταν στην Ευρώπη νυχτώνει -και κατ' επέκταση και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μικρή-, στην Αμερική εξακολουθεί να είναι μεσημέρι και η κατανάλωση ενέργειας βρίσκεται στο αποκορύφωμά της. Καθώς θα υπάρχουν διασυνδέσεις μεταξύ των δύο αυτών ηπείρων, η συνολική διαθέσιμη ισχύ θα μπορεί να μεταφερθεί, όπου αυτήν είναι αναγκαία. Με αυτόν τον τρόπο, η εκμετάλλευση του δυναμικού των ΑΠΕ μπορεί να φθάσει στο 100% ολόκληρο το χρόνο.

- Ελαχιστοποίηση των αποθεματικών ηλεκτρικής ενέργειας: Ένα υψηλότερο ποσό αποθεματικών είναι συνήθως απαραίτητο κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς υψηλές βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα συνέχεια. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, το φορτίο μεταβάλλεται σε σημαντικά μικρότερο βαθμό, και η ανάγκη για τη διατήρηση -και τη χρήση- των αποθεμάτων είναι χαμηλότερη. Η ύπαρξη των διασυνδέσεων σε όλο τον κόσμο, θα βοηθήσει να μειωθεί η ποσότητα των αναγκαίων αποθεμάτων ισχύος σε μια περιοχή. Για παράδειγμα, ένα σημαντικό μέρος της δυναμικότητας που παρακρατείται ως αποθεματικό ελέγχου από τις τοπικές πηγές παραγωγής κατά τη διάρκεια της ημέρας στην Ευρώπη μπορεί να παρέχεται μέσω, π.χ. των διασυνδέσεων με τις ΗΠΑ. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι ΗΠΑ καταναλώνουν σημαντικά λιγότερη ενέργεια και χρειάζονται μικρότερη ποσότητα των αποθεμάτων. Επίσης, η διαθέσιμη ισχύς ελέγχου θα μπορούσε να προερχόταν και από την άλλη πλευρά του Ατλαντικού. Αυτό θα οδηγήσει σε μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής και μείωση των απωλειών ενέργειας, η οποία στην πραγματικότητα θα οδηγήσει σε μειωμένη τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για τον τελικό καταναλωτή.
- Μετριασμός του προβλήματος αποθήκευσης: Οι γραμμές HVDC του Παγκόσμιου Δικτύου έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν το πρόβλημα αποθήκευσης στα μελλοντικά συστήματα ενέργειας με την απορρόφηση της περίσσειας ενέργειας (δηλαδή, με μια χαμηλή τιμή) και την εισφορά της σε περιοχές όπου χρειάζεται περισσότερο. Όσον αφορά την αποδοτικότητα, οι απώλειες από μία γραμμή εξαιρετικά υψηλής τάσης DC (π.χ. $\pm 800\text{kV}$) ανέρχονται σε περίπου 3% για κάθε 1.000 χιλιόμετρα. Αυτό σημαίνει ότι μια γραμμή 6.000 χιλιομέτρων HVDC με τη σημερινή τεχνολογία έχει καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την υδροηλεκτρική αντλία ή με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας υπό την μορφή πεπιεσμένου αέρα (CAES). Θα μπορούσε, βέβαια, να υποστηριχθεί ότι οι δαπάνες για την κατασκευή συστημάτων αποθήκευσης θα είναι σημαντικά μικρότερες σε σύγκριση με την κατασκευή μιας υποβρύχιας διηπειρωτικής γραμμής ρεύματος. Στην περίπτωση της αποθήκευσης υδρογόνου ή την αποθήκευση μπαταριών ροής οξειδοαναγωγής, μια γραμμή HVDC μεγάλου μήκους είναι μια οικονομικά ανταγωνιστική επιλογή. Τα CAES και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικές αντλίες κοστίζουν λιγότερο ανά εγκατεστημένη kW. Παρ' όλα αυτά, για την κατάλληλη σύγκριση, είναι απαραίτητο να εξεταστούν επίσης οι ακόλουθοι τρεις παράγοντες: (α) Από την άποψη της δυναμικότητας, η γραμμή HVDC έχει τη δυνατότητα να παρέχει (ή να απορροφά) συνεχώς ενέργεια για 8.760 ώρες το χρόνο, καθώς δεν χρειάζεται να αναπληρώσει την ενέργεια που προσφέρει νωρίτερα. (β) Μια γραμμή HVDC μπορεί να αποφέρει κέρδη κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας, και στις δύο περιοχές τις οποίες συνδέει. (γ) Ένας επιπλέον παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η αναγκαιότητα για ενισχύσεις στο δίκτυο. Ερευνώντας την ενσωμάτωση των επιπρόσθετων ΑΠΕ, φάνηκε ότι ακόμη και αν η αποθήκευση ήταν σε θέση να απορροφήσει το 100% της περίσσειας ενέργειας, το 65% των προτεινόμενων ενισχύσεων του δικτύου εξακολουθούν να είναι απαραίτητες. Εάν οι παγκόσμιες διασυνδέσεις του δικτύου μπορούσαν να σχεδιαστούν σε συνδυασμό με τις εν λόγω ενισχύσεις, θα

μπορούσε να προκύψει σημαντική εξοικονόμηση κόστους. Τέλος, περαιτέρω οφέλη που σχετίζονται με την αποθήκευση μπορεί να προκύψουν από την έννοια του Παγκόσμιου Δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αρκετό ανεκμετάλλευτο δυναμικό υδροηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές της Αφρικής, της Σιβηρίας και της Αλάσκας. Παγκόσμιες διασυνδέσεις θα μπορούσαν να διευκολύνουν την εκμετάλλευση αυτών των χωρών.

- Μείωση της αστάθειας των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας: Λόγω της διαλείπουσας φύσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, και ιδιαίτερα της αιολικής ενέργειας, αναμένεται στο μέλλον μια υψηλή αστάθεια των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Παραδείγματα από πολύ υψηλές τιμές, ή το αντίθετο, δηλαδή αρνητικές τιμές, έχουν ήδη παρατηρηθεί στις ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας. Η ύπαρξη πολλών διασυνδέσεων μεταξύ των δικτύων μπορεί να μετριάσει σημαντικά τέτοια ακραία φαινόμενα. Οι γραμμές διασύνδεσης μπορεί να παρέχουν ελλειπούσα ενέργεια σε περίπτωση υψηλής ζήτησης, ή να μεταδώσουν περίσσεια ενέργεια εκεί όπου μπορεί να απορροφηθεί. Με τον τρόπο αυτό, οι διακυμάνσεις της ηλεκτρικής ενέργειας θα ελαχιστοποιηθούν, και έτσι ο καταναλωτής θα μπορεί να απολαύσει μια σχετικά σταθερή και, κατά μέσο όρο, χαμηλότερη τιμή. Θα μπορούσε, βέβαια, να υποστηριχθεί ότι οι καταναλωτές, κατά τις βραδινές ώρες, θα πρέπει να υπόκεινται σε υψηλότερες τιμές, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται σε άλλες περιοχές με υψηλή τιμή. Λεπτομερείς μελέτες που βασίζονται σε στοιχεία τιμών από τις υφιστάμενες διασυνδέσεις θα πρέπει να διεξαχθούν προκειμένου να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι επιδράσεις αυτές. Φυσικά, η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα πέσει, καθώς η αύξηση των τιμών κατά τη διάρκεια της νύχτας θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μείωση που θα απολαμβάνουν οι καταναλωτές κατά τη διάρκεια της ημέρας (κατά τη διάρκεια της ημέρας ακριβές μονάδες αιχμής μπορεί να αντικατασταθούν από τις διασυνδέσεις). Παρ' όλα αυτά, οι αρχικές αναλύσεις από τη λειτουργία της σύνδεσης του NorNed δεν έδειξαν σημαντική αλλαγή στα επίπεδα των τιμών για τις δύο χώρες, καθώς «σημαντικά μεγαλύτερη δυναμικότητα από εκείνη του NorNed μπορεί να απαιτείται για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα [δηλαδή, η μείωση της αστάθειας των τιμών]». Αυτές οι διαπιστώσεις υπογραμμίζουν την ανάγκη να προχωρήσουμε σε ένα πιο διασυνδεδεμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπως προβλέπεται στην έννοια του Παγκόσμιου Δικτύου.
- Βελτίωση της ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: Το Παγκόσμιο Δίκτυο μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα, μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό της συμφόρησης, εξαλείφοντας και τα έξοδα που προκαλεί. Εάν, όμως, ένα τέτοιο δίκτυο, δεν σχεδιαστεί σωστά, μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στο υποκείμενο AC δίκτυο. Υπάρχουν δύο τρόποι, προκειμένου να αποφευχθεί μια τέτοια κατάσταση: (α) Ο πρώτος τρόπος είναι να σχεδιαστεί το δίκτυο HVDC με πολλαπλά σημεία εισφοράς, έτσι ώστε να μπορεί η ενέργεια να διανεμηθεί (ή να απορροφηθεί) σε μια πιο ευρύτερη περιοχή και στη συνέχεια να παρέχεται στους καταναλωτές. (β) Ο άλλος τρόπος είναι να ενισχυθούν τα αδύνατα σημεία του υποκείμενου AC δικτύου προκειμένου να είναι σε θέση να διατηρήσουν τις υψηλές ροές ενέργειας που μπορεί να συμβούν. Επιπλέον, το Παγκόσμιο Δίκτυο μπορεί να έχει μια θετική επίδραση όσον αφορά την ανθεκτικότητα του δικτύου σε σχέση με τις αποτυχίες των στοιχείων μετάδοσης. Πράγματι, το Παγκόσμιο Δίκτυο χτίζει νέες «γέφυρες» μεταξύ των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα πιο διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί, σε γενικές γραμμές, στην αύξηση της ασφάλειας, καθώς νέα μονοπάτια δημιουργούνται για να εξυπηρετήσουν την ενέργεια. Η πιθανότητα ότι η απώλεια σε μια γραμμή θα οδηγήσει σε ένα blackout σε μία περιοχή θα μειωθεί. Από την άλλη πλευρά, θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι οι νέες συνδέσεις μεταξύ των δικτύων, ακόμη και σε επίπεδο DC, θα μπορούσαν να επιτρέψουν τη διάδοση των διαταραχών, οδηγώντας τελικά σε ένα παγκόσμιο blackout. Μέτρα για την πρόληψη τέτοιων φαινομένων, ακόμη και αν θα συμβούν σπάνια, είναι μια πρόκληση που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τέλος, οι διασυνδέσεις HVDC μπορεί επίσης να μετριάσουν τα προβλήματα που σχετίζονται με τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος ενέργειας. Σημαντικά πλεονεκτήματα προκύπτουν από τις νέες τεχνολογίες

HVDC (Voltage Source Converters), καθώς επιτρέπουν τον ανεξάρτητο έλεγχο της ενεργού και αέργου ισχύος. Ως αποτέλεσμα, τα σημεία εισφοράς του Παγκόσμιου Δικτύου μπορεί να προβλεφθούν για να χρησιμεύσουν ως αντιδραστικοί παροχείς ενέργειας, βοηθώντας τοπικά στη σταθερότητα τάσης του υποκείμενου δικτύου. Επιπλέον, οι διασυνδέσεις HVDC μπορεί να βοηθήσουν με τα παροδικά προβλήματα σταθερότητας. Τέτοια προβλήματα εμφανίζονται συνήθως μετά από διαταραχές (π.χ. βραχυκύκλωμα) και διαταράσσουν την ισορροπία μεταξύ της μηχανικής (εισόδου) και ηλεκτρικής (εξόδου) ισχύος των γεννητριών. Οι γεννήτριες με μεγαλύτερη μηχανική ισχύ σε σχέση με ηλεκτρική ισχύ επιταχύνονται, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, επιβραδύνονται. Η επιτάχυνση/επιβράδυνση οδηγεί σε διατάραξη της ταχύτητας περιστροφής των γεννητριών και μιας απόκλισης από την ονομαστική συχνότητα. Αυτό το αποτέλεσμα, συνήθως, αναφέρεται ως απώλεια συγχρονισμού. Εάν η γραμμή διασύνδεσης HVDC βρίσκεται κοντά σε μια τέτοια μηχανή, μέσω του ενεργού ελέγχου της ροής ισχύος της, μπορεί να απορροφήσει ηλεκτρική ενέργεια, αν η μηχανή επιταχύνει, ή να εισφέρει πρόσθετη ενέργεια εφόσον επιβραδύνεται η γεννήτρια. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορούσε ενδεχομένως να αποτρέψει την απώλεια συγχρονισμού.

- Επιπρόσθετα οφέλη: Ένα δίκτυο HVDC έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εμφανίζεται πάνω από το υπάρχον AC δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, συνδέοντας σημείο προς σημείο τις απομονωμένες εγκαταστάσεις ενέργειας με μεγάλα κέντρα φορτίου (π.χ. πόλεις ή μεγαλουπόλεις). Ως αποτέλεσμα, η ενέργεια μπορεί να μεταδοθεί άμεσα εκεί που χρειάζεται περισσότερο, με λιγότερες απώλειες ισχύος και χωρίς υπερφόρτωση άλλων γραμμών ή υποσταθμών. Οι χώρες με την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και με υψηλά αποθέματα άνθρακα, αλλά με χαμηλότερο δυναμικό ΑΠΕ, θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τις παγκόσμιες διασυνδέσεις με την εισαγωγή πράσινης ενέργειας. Σε μακροπρόθεσμη βάση, οικονομικά οφέλη μπορούν να προκύψουν, καθώς τα συμβατικά κόστη των καυσίμων, με την προσθήκη των φόρων άνθρακα, θα αυξηθούν σε σύγκριση με το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας των μονάδων ΑΠΕ. Επιπλέον, το Παγκόσμιο Δίκτυο μπορεί να έχει μια επίδραση στην αύξηση της παγκόσμιας συνεργασίας, με πολλές θετικές επιπτώσεις τόσο σε πολιτικές όσο και σε εμπορικές διαστάσεις. Ένα σημαντικό δυναμικό των ΑΠΕ υπάρχει και σε χώρες με αναπτυσσόμενες οικονομίες. Αν, λοιπόν, δημιουργηθεί ένα Παγκόσμιο Δίκτυο το οποίο θα παράγει ενέργεια από ΑΠΕ, αυτό θα μπορούσε να τονώσει τις επενδύσεις σε αυτές τις περιοχές, και να βοηθήσει σημαντικά τις τοπικές οικονομίες τους. Για παράδειγμα, λόγω της αφθονίας της ηλιακής ενέργειας στις ερήμους της Αφρικής, ένα σημαντικό μέρος αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλύψει όλες τις ενεργειακές ανάγκες του τοπικού πληθυσμού ή να χρησιμοποιηθούν για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και τον μετριασμό των προβλημάτων λειψυδρίας.

Κεφάλαιο 9

Επίλογος

9.1 Συμπεράσματα

Στο σημερινό ηλεκτρικό δίκτυο, η επικοινωνία είναι μονόπλευρη, οι εγκαταστάσεις παλαιωμένες και κεντρικά ελεγχόμενες, ενώ η διείσδυση της καθαρής ενέργειας περιορισμένη. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα οι ηλεκτροπαραγωγικές επιχειρήσεις να μην μπορούν πάντα να ανταποκριθούν στις ανάγκες και να ανακύπτουν προβλήματα στο σύστημα, όπως διακοπές στην ηλεκτροδότηση. Όμως, στη σύγχρονη ψηφιακή εποχή όπου έχει αυξηθεί ραγδαία η ζήτηση ηλεκτρισμού και ιδιαιτέρως αξιόπιστων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, επιβάλλεται μετάβαση σε ένα ταχύτερο, περισσότερο Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο, που θα παρέχει καλύτερη ποιότητα ρεύματος.

Το Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο θεωρείται ως ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ηλικιωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί το σημείο σύγκλισης της πληροφορικής, των επικοινωνιών και των συστημάτων ενέργειας με σκοπό να δημιουργήσει ένα πιο στιβαρό, αποτελεσματικό και ευέλικτο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικά χαρακτηριστικά του είναι η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, η εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο εξομαλύνοντας τις αιχμές, καθώς επίσης καθιστά τους καταναλωτές ενεργούς συμμετοχούς στην παραγωγή και στην κατανάλωση του ηλεκτρισμού. Καθώς το Έξυπνο Δίκτυο εκμεταλλεύεται την ψηφιακή τεχνολογία στο έπακρο, περισσότερα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν και να επαναπρογραμματιστούν ή να μετατραπούν με απομακρυσμένη πρόσβαση. Το Ευφύες Δίκτυο επιτρέπει, επίσης, την αποδοτικότερη χρήση της υπάρχουσας εγκατεστημένης ισχύος και της υποδομής μεταφοράς και διανομής ενέργειας, με μείωση των απωλειών στις ηλεκτρικές γραμμές και χρήση τοπικής, αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής σε μεγαλύτερο βαθμό.

Καθώς το μερίδιο παραγωγής αυξάνεται από ποικίλες ανανεώσιμες πηγές, ένα Ευφύες Δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα τις αυξομειώσεις του ρεύματος, όταν η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται ή τα σύννεφα κρύβουν τον ήλιο. Θα επιτρέψει, επίσης, στα ηλεκτρικά οχήματα να αποθηκεύουν ρεύμα για τις μετακινήσεις τους ή να το πωλούν πίσω στο δίκτυο όταν αυτό απαιτείται. Οι έξυπνες τεχνολογίες, όπως π.χ. οι έξυπνοι μετρητές, τα αυτόματα συστήματα ελέγχου και οι ψηφιακοί αισθητήρες, θα δείχνουν στους καταναλωτές την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο και θα τους επιτρέπουν να εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια διακόπτοντας ηλεκτρικές συσκευές, συστήματα θέρμανσης και ψύξης ολόκληρων κτιρίων, βιομηχανικά φορτία για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ή όταν η τιμή του ρεύματος υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο ή όταν υπάρχει πτώση παραγωγής στις μεγάλες αιολικές μονάδες. Όλες αυτές οι τεχνικές της Διαχείρισης και της Απόκρισης της Ζήτησης (DSM/DR) στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης σε περιόδους αιχμής, δηλαδή στη μείωση της υπερφόρτισης του δικτύου, στην ομαλοποίηση της καμπύλης ζήτησης και συνεπώς στον περιορισμό των απρογραμματίστων διακοπών που οφείλονται στον παράγοντα

της υπερφόρτισης. Έτσι, βελτιώνεται η αξιοπιστία του δικτύου και οι καταναλωτές απολαμβάνουν υπηρεσίες υψηλότερου επιπέδου.

Οι υποβοηθητικές τεχνολογίες των Ευφυών αυτών Δικτύων δεν είναι άλλες από τις τεχνολογίες της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών (ICT). Οι τεχνολογίες της Πληροφορικής έχουν μπει πλέον παντού στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου και ο μόνος τομέας της οικονομίας που δεν είχαν διεισδύσει σε μεγάλο βαθμό μέχρι τώρα, ήταν ο τομέας της Ενέργειας. Σήμερα, οι τεχνολογίες ICT καλούνται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των Έξυπνων Δικτύων. Υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν από τα μελλοντικά Έξυπνα Δίκτυα (π.χ. Wireless LAN, WiMAX, ZigBee, WMN, MBWA, Bluetooth, Δορυφορικές Επικοινωνίες, Κυβελωτές Επικοινωνίες, Digital Microwave Technology, FSO, PLC, DSL, Επικοινωνίες Οπτικών Ινών, κ.ά.), η κάθε μία από τις οποίες εμφανίζει πλεονεκτήματα σε κάποιες περιπτώσεις και μειονεκτήματα σε άλλες. Επιπλέον, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι των Ευφυών Δικτύων, έχουν ήδη αναπτυχθεί συσκευές οι οποίες υλοποιούν ή βελτιώνουν διάφορες λειτουργίες των ΕΔ και επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Αυτές οι συσκευές (π.χ. smart metering, smart monitoring, συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, κ.ά.) αποσκοπούν στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σχετικών με την κατάσταση του δικτύου, τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του, την επιτήρηση του δικτύου και την παρουσίαση πληροφοριών στις επιχειρήσεις ενέργειας και στους καταναλωτές.

Μία από τις ανησυχίες, όμως, που επικρατεί όταν κάποιος οραματίζεται ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι, φυσικά, το κόστος του. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το ύψος των επενδύσεων που θα χρειαστούν για την υλοποίηση του μελλοντικού συστήματος παροχής ενέργειας θα κυμανθεί από 338-476 δισεκατομμύρια δολάρια. Συγκρινόμενο, όμως, το κόστος του Έξυπνου Δικτύου με τα εκτιμώμενα οφέλη που θα προκύψουν από τη λειτουργία του, τα οποία θα κυμανθούν από 1-2 τρισεκατομμύρια δολάρια, είναι αδιαμφισβήτητο πώς το Έξυπνο Δίκτυο αποτελεί πράγματι μία καλή επένδυση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Την περαιτέρω ανάπτυξη των Έξυπνων Δικτύων πρόκειται να προωθήσουν, επίσης, τα Μικροδίκτυα (Microgrids) και οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής (Virtual Power Plants). Αυτές οι δύο έννοιες δικτύων περιλαμβάνονται στο ευρύτερο πλαίσιο των Ευφυών Δικτύων και αναμένονται στο μέλλον να διαδραματίσουν και αυτά σημαντικό ρόλο στον τομέα ισχύος και ενέργειας, εξαιτίας των πολλών οφελών που θα παρέχουν, τόσο στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και για το ενεργειακό σύστημα, αλλά και για την κοινωνία στο σύνολό της.

Τέλος, ως φυσικό μελλοντικό στάδιο του Έξυπνου Δικτύου Ενέργειας προβάλλεται το όραμα ενός δικτύου που θα συνδέει τις περισσότερες από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο και θα καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη. Αυτό το δίκτυο θα ονομάζεται «Global Smart Electricity Grid», δηλαδή «Παγκόσμιο Έξυπνο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας». Βασική κινητήρια δύναμη αυτού του δικτύου θα αποτελούν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ενώ βασικό στοιχείο της υποδομής του θα είναι οι γραμμές μεταφοράς υψηλής χωρητικότητας. Πολλές από τις τεχνολογίες που απαιτούνται για την υλοποίηση του Παγκόσμιου Δικτύου είναι ήδη σχετικά ώριμες. Για τις υπόλοιπες, είναι απαραίτητη η ανάπτυξή τους, αλλά δεν αναμένονται σημαντικά εμπόδια από τεχνικής απόψεως. Βέβαια, η αναγκαία υποδομή για την υλοποίηση του Παγκόσμιου Δικτύου περιλαμβάνει επενδύσεις της τάξης των δισεκατομμυρίων δολαρίων για κάθε διασύνδεση, αλλά καθώς αυτές οι επενδύσεις μπορούν να συγκριθούν με τις τρέχουσες επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας, συμπεραίνουμε πώς μια τέτοια ιδέα φαίνεται να είναι τεχνολογικά εφικτή και οικονομικά ανταγωνιστική. Επιπλέον, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και τα πολυάριθμα οφέλη που θα προκύψουν από τη λειτουργία ενός παγκόσμιου διασυνδεδεμένου Έξυπνου Δικτύου Ενέργειας.

9.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η εμφάνιση του Έξυπνου Δικτύου πρόκειται να φέρει επανάσταση στην καθημερινή μας ζωή. Ωστόσο, είναι προφανές ότι χρειάζεται να γίνουν αρκετά βήματα μέχρι αυτές οι τεχνολογίες να ενταχθούν πλήρως στην καθημερινότητά μας, αλλά και να υπάρξει η

αντίστοιχη ανταπόκριση και συμμετοχή των καταναλωτών, ώστε όλα τα οφέλη του Έξυπνου Δικτύου να γίνουν πραγματικότητα.

Καθώς, τα Έξυπνα Δίκτυα κερδίζουν συνεχώς το ενδιαφέρον, αναμφίβολα θα αποτελέσουν και θέμα πολλών μελλοντικών μελετών. Αρχικά, μία διεξοδικότερη μελέτη και μοντελοποίηση του Έξυπνου Δικτύου θα δώσει μία καλύτερη εικόνα για το πόσο ισχυρό είναι το δίκτυο αυτό. Επιπλέον, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να περιλαμβάνει διεξοδικότερη ανάλυση των χαρακτηριστικών του δικτύου, της αρχιτεκτονικής του, πιλοτικά προγράμματα, εφαρμογές και ερευνητικές προκλήσεις σε θέματα ΤΠΕ, προκειμένου να δώσει μια πλήρη εικόνα για τα Έξυπνα Δίκτυα.

Όσον αφορά την εφαρμογή της ασύρματης τεχνολογίας στα Έξυπνα Δίκτυα, μπορεί μεν να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την ενσύρματη τεχνολογία, αλλά υπάρχουν κάποια ζητήματα τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως είναι: (α) οι ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν στο φάσμα συχνοτήτων χωρίς άδεια είναι πιο ευαίσθητες στις παρεμβολές και στο θόρυβο, (β) οι ασύρματες τεχνολογίες με άδεια φάσματος έχουν μεν λιγότερες παρεμβολές, αλλά κοστίζουν πιο πολύ και (γ) η ασφάλεια των ασύρματων μέσων είναι εκ φύσεως μικρότερη. Πολλές, βέβαια, δραστηριότητες για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων έχουν ήδη δρομολογηθεί, αλλά σίγουρα θα πρέπει να υπάρξουν και άλλες μελέτες, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πλήρως αυτά τα ζητήματα.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών, ειδικά αυτών που σχετίζονται με το Διαδίκτυο, ίσως εισάγουν νέες απειλές για την ασφάλεια του Έξυπνου Δικτύου. Εισάγοντας τις νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών και Πληροφορικής σε καίρια σημεία του δικτύου, επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς και η ενεργητικότητα των καταναλωτών στο σενάριο λειτουργίας του Έξυπνου Δικτύου. Ωστόσο, όμως, ορισμένοι κακοπροαίρετοι επιτιθέμενοι μπορούν να εκμεταλλευτούν τα ευάλωτα σημεία του δικτύου επικοινωνιών και να καταλάβουν ηλεκτρονικές συσκευές, να υποκλέψουν απόρρητες ή προσωπικές πληροφορίες, να απαγορεύσουν τη διαθεσιμότητα απαραίτητων υπηρεσιών ή να προκαλέσουν μια εκτεταμένη διακοπή ρεύματος, με συνέπεια ένα δυσμενές οικονομικό κόστος. Γι' αυτό το λόγο, η αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφάλειας στο Έξυπνο Δίκτυο παίζει πρωταρχικό ρόλο. Η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και η διαθεσιμότητα των διακινούμενων πληροφοριών είναι ανάγκη να προστατευθούν, έτσι ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία του συστήματος.

Ένα θέμα που απασχολεί πολλούς επιστήμονες σήμερα είναι το τι θα συνέβαινε αν κάποιος εισβολέας παραποιούσε τα δεδομένα ενός μεγάλου αριθμού έξυπνων μετρητών ή αν τους έθετε εκτός λειτουργίας. Σε αυτήν την περίπτωση, το κέντρο ελέγχου θα λάμβανε παραποιημένα στοιχεία με αποτέλεσμα να οργανώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με αυτά και όχι με βάση τα πραγματικά δεδομένα. Σαν αποτέλεσμα, η παραγωγή με τη ζήτηση θα έχαναν το ισοζύγιο τους. Επιπρόσθετα, οι χειριστές θα έχαναν τη δυνατότητα ελέγχου σημαντικών φορτίων, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε blackout. Επομένως, κρίνεται σκόπιμο η μελλοντική έρευνα να επικεντρωθεί στις συνέπειες που θα είχε μία επίθεση μεγάλης κλίμακας στους μηχανισμούς Demand-Response του Έξυπνου Δικτύου.

Αντικείμενο περαιτέρω μελέτης θα μπορούσε να αποτελέσουν και τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, καθώς αυτά μπορούν να συνδέονται στο Έξυπνο Ηλεκτρικό Δίκτυο μιας έξυπνης πόλης. Τα ηλεκτρικά οχήματα, όχι μόνο δεν θα επιβαρύνουν το περιβάλλον, αλλά θα μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια, την οποία θα επιστρέφουν στη συνέχεια στο δίκτυο. Έτσι, θα παρέχουν σημαντική βοήθεια στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στη μείωση των εκπομπών ρύπων.

Επιπλέον, η έννοια του Έξυπνου Δικτύου συνδυάζει πολλές νέες τάσεις, όπως είναι η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η αναμενόμενη είσοδος των ηλεκτρικών οχημάτων στη ζωή των καταναλωτών. Η μελλοντική κυριαρχία των ανανεώσιμων πηγών, της διανεμημένης παραγωγής και των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ήδη απασχολεί τους διαχειριστές των συστημάτων. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η διερεύνηση της επίδρασης αυτών στην αξιοπιστία του δικτύου διανομής.

Τελευταία, έχει εμφανιστεί ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον και για τα Μικροδίκτυα. Η τρέχουσα κατάσταση των Μικροδικτύων στις ΗΠΑ δείχνει ότι ένας μικρός αριθμός μελετών που διεξάγονται έχει αρχίσει να παρέχει αρκετές πληροφορίες, οι οποίες αποδεικνύουν ότι όντως τα Μικροδίκτυα θα μπορούν να προσφέρουν πολλά και σημαντικά οφέλη για τους καταναλωτές, το ηλεκτρικό δίκτυο και την κοινωνία στο σύνολό της. Σίγουρα, όμως, απαιτούνται να γίνουν και άλλες μελέτες προκειμένου να καθορίσουν τελικά τις λεπτομέρειες σχετικά με το αν, πώς και πού μπορούν να κατασκευαστούν Μικροδίκτυα, τι καταναλωτές μπορούν να εξυπηρετήσουν, τι υπηρεσίες θα παρέχουν, και, συνεπώς, ποια θα είναι τα οφέλη που θα μπορούν να προσφέρουν.

Εκτός από τα Μικροδίκτυα, έχουν αρχίσει να αναδύονται τελευταία και οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής, καθώς είναι μία ιδέα που υπόσχεται να βελτιώσει την αξιοπιστία του συστήματος διανομής και ενδεχομένως να περιορίσει την ανάγκη για νέο δυναμικό παραγωγής σε περιόδους αιχμής, χάρη στις βελτιωμένες επικοινωνίες και στις τεχνολογίες απόκρισης. Οι Εικονικοί Σταθμοί Παραγωγής βρίσκονται, όμως, ακόμη στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης. Μελέτες, βέβαια, που έχουν διεξαχθεί μέχρι στιγμής παρουσιάζουν τις τεχνικές δυνατότητες των VPPs. Επιπλέον, πολλαπλές τεχνικές αρχιτεκτονικές δοκιμάζονται σε διάφορες χώρες, όπως στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη. Η ανάδειξη των VPPs, όμως, περιορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως οικονομικούς (το κόστος της καταναλωμένης παραγωγής είναι πολύ μεγάλο για την ευρεία διείσδυσή της, ενώ η τιμή του φυσικού αερίου είναι σχετικά χαμηλή), ρυθμιστικούς (στους Εικονικούς Σταθμούς Παραγωγής η αποθήκευση ενέργειας έχει εξεταστεί λανθασμένα από το ισχύον ρυθμιστικό καθεστώς σε ορισμένες περιοχές) και τεχνικούς (η τεχνολογική πλατφόρμα δεν έχει ακόμα υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο που να μπορεί να υποστηρίξει ένα επεκτάσιμο VPP). Στο σύνολό τους, όλοι οι παραπάνω περιορισμοί αποτελούν ένα σημαντικό εμπόδιο για την υλοποίηση των Εικονικών Σταθμών Παραγωγής και παράλληλα αποτελούν προκλήσεις οι οποίες χρήζουν αντιμετώπισης.

Τέλος, για τη δημιουργία και για την ομαλή λειτουργία ενός Παγκόσμιου Έξυπνου Δικτύου θα πρέπει να διεξαχθούν οικονομικές, κοινωνικές και τεχνικές μελέτες, προκειμένου να τεκμηριώσουν τα οφέλη, αλλά και τις προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν. Επιπλέον, οι κίνδυνοι που συνεπάγεται η δημιουργία ενός τέτοιου δικτύου, που θα συνδέει όλον τον πλανήτη, θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν και να ενσωματωθούν στις μελέτες, καθώς επίσης θα πρέπει να βρεθούν και τρόποι επίλυσής τους. Η ερευνητική κοινότητα θα μπορούσε επίσης να συμμετέχει ενεργά, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα αναδυόμενα προβλήματα και να αναπτύξουν τις αναγκαίες μεθόδους και εργαλεία που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την υλοποίηση του Παγκόσμιου Δικτύου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Αγτζίδης Βλάχης.** *Η ιστορία της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.* <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=360586>
- [2] **Φραγκόπουλος Στ.** *Ηλεκτρική Ενέργεια.* <http://www.shenh.gr/shenh/elektrismos/129-elektriki-energia.html>
- [3] **Λαμπρίδης Δ., Ντοκόπουλος Π., Παπαγιάννης Γ.** *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.* Τόμος Α, Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη 2006.
- [4] **ΔΕΗ Α.Ε.** <http://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae>
- [5] *Η ιστορική εξέλιξη του νομοθετικού πλαισίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.* http://www.3g-global.com/uploads/3/8/6/1/3861313/histori_of_electric_energy_production.pdf
- [6] <http://www.rae.gr/>
- [7] **Χατζηβασιλειάδης Ιωάννης.** *Η Μεγάλη Πρόκληση: Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλων Αποδοτικών Τεχνολογιών Παραγωγής με Μεγάλη Διείσδυση στα Μελλοντικά Ηλεκτρικά Δίκτυα.* Μάιος 2010. http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CEYQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.ewh.ieee.org%2Fsoc%2Fpes%2Fgreece%2Findex_files%2Ffiles%2FOmilia%2520IEEE%2520280510%25203.ppt&ei=xVWcUojfDsXWtAbHmIGYAg&usq=AfQjCNHEbYrX4pQgef_9jmSOFVsUk4WQGG
- [8] *Electricity market.* http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_market
- [9] **Φιλίνης Κυριάκος και Τριαντόπουλος Χρήστος.** Σημειώσεις για το Εισαγωγικό Σεμινάριο στην Οικονομική Θεωρία. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στις Ευρωπαϊκές και Διεθνείς Σπουδές του Τμήματος Πολιτικής Επιστήμης και Δημόσιας Διοίκησης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αθήνα 2006-2007.
- [10] **Κάπρος Π.** *Σημειώσεις Οικονομικής Ανάλυσης - Μέρος Γ'.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2003.
- [11] **Κάπρος Π.** *Σημειώσεις Οικονομικής Ανάλυσης - Μέρος Β'.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2003.
- [12] **Mohammad Shahidehpour, Hatim Yamin and Zuyi Li.** *Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling and Risk Management.* The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). New York 2002.
- [13] **Christophe Defeuilley.** *Retail Competition in Electricity Markets.* Larsen- Laboratoire d' Analyse économique des Réseaux et des Systèmes Energétiques. July 2008.
- [14] **Λεκατσάς Ευάγγελος.** *Προϋποθέσεις για την θέσπιση κανόνων αποτελεσματικής λειτουργίας μιας αγοράς ηλεκτρισμού.* Αθήνα, Φεβρουάριος 2003.
- [15] *Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα.* <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE6.pdf>
- [16] *Ενέργεια-Μία Βιώσιμη Επένδυση.* <http://www.investingreece.gov.gr/default.asp?pid=36§orID=38&la=2>
- [17] <http://www.admie.gr/>
- [18] <http://www.deddie.gr/>
- [19] <http://www.lagie.gr/>
- [20] **Μαυρογιαννάκης Εμμανουήλ.** *Στοιχεία Ηλεκτρισμού (Παραγωγή, Μεταφορά, Διανομή και Εφαρμογές της Ηλεκτρικής Ενέργειας).* Α' Τάξη Τ.Ε.Λ., Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων. Αθήνα 1988.
- [21] **Αλεξανδρίδης Αντώνης.** *Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας.* Β' Τάξη Τ.Ε.Λ., Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων. Αθήνα 1987.
- [22] **Βιδιάδάκης Ανδρέας, Μπινάρης Αθανάσιος, Κανελλόπουλος Χαράλαμπος και Χατζαράκης Γεώργιος.** *Ηλεκτρολογία.* Γ' Τάξη Γενικού Λυκείου Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων. Αθήνα 1999.
- [23] **Γιαννακόπουλος Γαβριήλ και Βοβός Νικόλαος.** *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.* Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη 2008.

- [24] **Παπαθεοδώρου Χρήστος.** *Η τεχνολογία BPL στη Μέση Τάση-Το Έξυπνο Δίκτυο.* Αθήνα, Οκτώβριος 2007.
- [25] **Χατζηβασιλειάδης Γιάννης.** *Οι Κρίσιμες Υποδομές των Νησιών, Ρεύμα και Νερό.* Αύγουστος 2013. http://www.energia.gr/article.asp?art_id=73249
- [26] **Φλουδόπουλος Χάρης.** *Οι διασυνδέσεις που δεν έγιναν και βυθίζονται στο σκοτάδι το Αιγαίο.* Αύγουστος 2013. <http://www.capital.gr/News.asp?id=1854245>
- [27] **Αναγνωστόπουλος Ιωάννης και Παπαντώνης Δημήτρης.** *Εκτίμηση μελλοντικών αναγκών αποθήκευσης ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας.* Μάρτιος 2013.
- [28] **Kristina Hamachi LaCommare and Joseph H. Eto.** *Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers.* Energy Analysis Department, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California Berkeley, Berkeley, California, September 2004.
- [29] *Hospitals effected by America 's biggest blackout.*
<https://www.msu.edu/~dahlgre8/at1130/>
- [30] **Michael Bruch, Volker Münch, Markus Aichinger (Allianz), Michael Kuhn, Martin Weymann (Swiss Re) and Gerhard Schmid (Munich Re).** *Power Blackout Risks: Risk Management Options.* Emerging Risk Initiative - Position Paper. November 2011.
- [31] **Thomas B.Smith.** *Electricity theft: a comparative analysis.* Energy Policy 32, 2067-2076, Department of Social and Behavioral Sciences, Zayed University, P.O. Box 19282, Dubai, United Arab Emirates, 2004.
- [32] **Steve Fetter.** *How long will the world's uranium supplies last?.* January 2009.
<http://www.scientificamerican.com/article/how-long-will-global-uranium-deposits-last/>
- [33] *The SMART GRID: An introduction.* Prepared for the U.S. Department of Energy by Litos Strategic Communication, United States of America.
- [34] **Παράσχος Αθανάσιος.** *Κλιματική αλλαγή και στάθμη θάλασσας.* Χανιά 2012.
<http://www.slideshare.net/aparaschos/geodesy-climate-change-paraschos-thanos>
- [35] *Ανανεώσιμες πηγές.* <http://www.greenguardia.gr/el/arthra/ikologia/ananeosimes-piges.html>
- [36] *Earth Summit.* http://en.wikipedia.org/wiki/Earth_Summit
- [37] **Colin Warbrick, Dominic McGoldric and Peter G.G.Davies.** *Global Warming and the Kyoto Protocol.* The International and Comparative Law Quarterly. Vol.17, No. 2, pp 446-461, Cambridge University Press on behalf of the British Institute of International and Comparative Law. April 1998.
- [38] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής. <http://www.ypeka.gr/>
- [39] **Παπαδόπουλος Μ. και Παπαχρήστου Δ.** *Ο εθνικός στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ για το 2020 και η συμβολή της Ηπείρου.*
- [40] *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Ενέργεια Κυμάτων - Ωκεανών.* Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα για την Ενέργεια. <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu2-3-5>
- [41] **Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, and Dejun Yang.** *Smart Grid - The New and Improved Power Grid: A Survey.*
- [42] **William T. Shaw.** *SCADA System Vulnerabilities to Cyber Attack.*
http://www.electriconline.com/show_article.php?mag=&article=181
- [43] **Julie Hull, Himanshu Khurana, Tom Markham and Kevin Staggs.** *Staying in Control.* 2012. <http://magazine.ieee-pes.org/january-february-2012/staying-in-control/>
- [44] SMART GRIDS: European technology platform for the electricity networks of the future. <http://www.smartgrids.eu/FAQ#12>
- [45] **Χατζηαργυρίου Νίκος, Αντιπρόεδρος της ΔΕΗ.** *Ευφυή Δίκτυα Διανομής για αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής.* Εκδήλωση ΕΒΕΑ - Εφημερίδας Απογευματινή «ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΡΚΑ».
- [46] **A. Moshari, G. R. Yousefi, A. Ebrahimi, and S. Haghbin.** *Demand-Side Behavior in the Smart Grid Environment.*
- [47] **Steven E. Collier.** *Ten Steps to a Smarter Grid.* IEEE INDUSTRY APPLICATIONS MAGAZINE, Mar-Apr 2010.

- [48] *European Smart Grids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future*. European Commission, Directorate-General for Research, Information and Communication Unit. Brussels, 2006.
- [49] **Tony Flick and Justin Morehouse**. *Securing The Smart Grid, Next Generation Power Grid Security*. USA, 2011.
- [50] **Chun-Hao Lo and Nirwan Ansari**. *The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects*. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 14, NO. 3, THIRD QUARTER 2012.
- [51] **Fangxing (Fran) Li, Wei Qiao, Hongbin Sun, Hui Wan, Jianhui Wang, Yan Xia, Zhao Xu and Pei Zhang**. *Smart Transmission Grid: Vision and Framework*. IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID. 2010.
- [52] **Cameron W. Potter, Allison Archambault and Kenneth Westrick**. *Building a Smarter Smart Grid through Better Renewable Energy Information*.
- [53] *Plug-in electric vehicle*. http://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicle
- [54] **Walter S. Baer, Brent Fulton and Sergej Mahnovski**. *Estimating the Benefits of the GridWise Initiative*. Prepared for the Pacific Northwest National Laboratory, Phase I Report, RAND Corporation. May 2004.
- [55] **Θαλασσινού Μαριάντζελα**. *Έξυπνοι Ψηφιακοί Μετρητές Ηλεκτρισμού- Smart Meters*. Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2010.
- [56] **Patrick Mazza**. *Powering Up the Smart Grid: A Northwest Initiative for Job Creation, Energy Security and Clean, Affordable Electricity*. April 2005.
- [57] **A.Zahedi**. *Developing a System for Future Smart Grid*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. March 2012.
- [58] **Clark W. Gellings**. *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*. 2009.
- [59] *Διοχετεύοντας την Ενέργεια του Διαδικτύου*. Οδηγός αγοράς Τεχνολογιών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών 2012.
http://www.infocom.gr/infocom_yearbook_2012/icy/document.pdf
- [60] **Wenye Wang, Yi Xu and Mohit Khanna**. *A survey on the communication architectures in smart grid*. Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, United States, 2011.
- [61] **Fadi Aloul, A. R. Al-Ali, Rami Al-Dalky, Mamoun Al-Mardini and Wassim El-Hajj**. *Smart Grid Security: Threats, Vulnerabilities and Solutions*. 2012.
- [62] **V.C. Gungor and F.C. Lambert**. *A survey on communication networks for electric system automation*. 2006.
- [63] **Palak P. Parikh, Mitalkumar. G. Kanabar and Tarlochan S. Sidhu**. *Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications*. 2010.
- [64] **Vehbi C. Gungor, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergüt, Concettina Buccella, Carlo Cecati and Gerhard P. Hancke**. *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*.
- [65] **Parth H. Pathak and Rudra Dutta**. *A Survey of Network Design Problems and Joint Design Approaches in Wireless Mesh Networks*. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 13, NO. 3, THIRD QUARTER. 2011.
- [66] **Sridhara K**. *Free Space Optical Communication*. International Journal of Latest Research in Science and Technology, Vol.1, Issue 3: Page No.202-205. September-October 2012.
- [67] **Rahul Tongia**. *Can broadband over powerline carrier (PLC) compete? A techno-economic analysis*. Telecommunications Policy 28, 559–578. April 2004.
- [68] *Broadband over power lines*. http://en.wikipedia.org/wiki/Broadband_over_power_lines
- [69] **Rodrigo Hidalgo, Chad Abbey and Ceza Joos**. *Integrating Distributed Generation with Smart Grid Enabling Technologies*. October 2011.
- [70] **Οικονόμου Δημήτριος**. *Σχεδιασμός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων - Εφαρμογή στο Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ)*. Ιούνιος 2009.

- [71] *Energy Smart Grids*. <http://design-lab.gr/el/articles-about-design/energy-smart-grids-id96>
- [72] *Global Positioning System*. http://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
- [73] **Κώτσης Γρηγόριος**. *Μοντελοποίηση Συσσωρευτών τύπου VRB και εφαρμογή τους σε υβριδικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*. Αθήνα 2012.
- [74] **Γιακουμέλος Λευτέρης**. *Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Τμήμα Εκπαίδευσης, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Ελασσόνα, 2013.
- [75] *Energy management system*. http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_management_system
- [76] **Vassilis Nikolopoulos**. *Theoretical & Technical Analysis of E.M.I.R. System - Energy Management and Intelligent Reporting*.
- [77] *Εξόρυξη δεδομένων*.
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BE%CF%8C%CF%81%CF%85%CE%BE%CE%B7_%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD
- [78] **Naoya Motegi and Mary Ann Piette**. *Web-based Energy Information Systems for Large Commercial Buildings*. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003.
- [79] *Ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων κατανάλωσης ρεύματος στο Δήμο Αμαρουσίου*.
<http://www.cres.gr/pepesecc/apotelesmata.html>
- [80] *Οι αλήθειες των Smart Grids - Ο νόμος της προσφοράς και της ζήτησης*. Οδηγός αγοράς Τεχνολογιών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών 2012.
http://www.infocom.gr/infocom_yearbook_2012/icy/document.pdf
- [81] **Steve Browning**. *Future Power Systems 21 - The Smart Customer*. Μάιος 2010.
- [82] **Peter Palensky and Dietmar Dietrich**. *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, VOL. 7, NO. 3. August 2011.
- [83] **David S. Loughran and Jonathan Kulick**. *Demand Side Management and Energy Efficiency in the United States*. The Energy journal, Vol. 25, No. 1, 2004.
- [84] **Joseph Eto**. *The Past, Present, and Future of U.S. Utility Demand-Side Management Programs*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. California, December 1996.
- [85] *Ο ρόλος της ενέργειας - Σύγχρονες ενεργειακές προκλήσεις*. Εκπαιδευτικό πρόγραμμα για την ενέργεια. <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu1-2-4>
- [86] **Gilbert M. Masters**. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. 2004.
- [87] **Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Vincent W. S. Wong, Juri Jatskevich, Robert Schober, Alberto Leon-Garcia**. *Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid*. IEEE Transactions on Smart Grid, VOL. 1, NO. 3, December 2010.
- [88] **U. Atikol and H. Guven**. *Feasibility of DSM-technology transfer to developing countries*. Applied Energy 76 (2003) 197–210. Turkey, February 2003.
- [89] **Goran Strbac**. *Demand side management: Benefits and challenges*. Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College, London.
- [90] **A. Moshari, G. R. Yousefi, A. Ebrahimi, and S. Haghbin**. *Demand-Side Behavior in the Smart Grid Environment*.
- [91] **V. S. K. Murthy Balijepalli, Vedanta Pradhan, S. A. Khaparde Senior Member, IEEE and R. M. Shereef**. *Review of Demand Response under Smart Grid Paradigm*. India, 2011.
- [92] **Charles River Associates**. *Primer on Demand-Side-Management with an Emphasis on Price-Responsive Programs*. Report prepared for The World Bank. Washington, February 2005.
- [93] **Michelle Maloney, Greg Watt**. *Developing Mechanisms for Promoting Demand-side Management and Energy Efficiency in Changing Electricity Businesses*. Research Report

- No3, Task VI of the International Energy Agency Demand-Side Management Programme. Australia, August 2000.
- [94] **South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC) and United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA).** *Demand Side Management Best Practices Guidebook for Pacific Islands power utilities.* July 2006.
- [95] **AEIC Load Research Committee.** *Demand Response Measurement & Verification.* March 2009.
- [96] **Charles Goldman, Michael Reid, Roger Levy, Alison Silverstein.** *Coordination of Energy Efficiency and Demand Response.* Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. USA, January 2010.
- [97] **U.S. Department of Energy.** *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them.* A report to the United States Congress pursuant to section 1252 of the energy policy act to 2005. USA, February 2006.
- [98] **Lampros C. Stavrogiannis.** *Electricity Tariff Design and Implementation for the Smart Grid.* Southampton, October 2010.
- [99] Demand response http://en.wikipedia.org/wiki/Demand_response
- [100] **P. Faria, Z. Vale.** *Demand response in electrical energy supply: An optimal real time pricing approach.* February 2013.
- [101] **IBM Global Business Services and eMeter Strategic Consulting for the Ontario Energy Board.** *Ontario Energy Board Smart Price Pilot Final Report.* July 2007.
- [102] **Ahmad Faruqui and Jennifer Palmer.** *Dynamic Pricing and Its Discontents* Empirical data show dynamic pricing of electricity would benefit consumers, including the poor.
- [103] **Ahmad Faruqui, Sanem Sergici, Lisa Wood.** Moving Toward Utility-Scale Deployment of Dynamic Pricing in Mass Markets. June 2009.
- [104] **Ahmad Faruqui, Ryan Hledik and Sanem Sergici.** *Piloting the Smart Grid.*
- [105] **O. Sezgen, C.A. Goldman, P. Krishnarao.** Option value of electricity demand response. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. October 2005.
- [106] **Nicole Hopper, Charles Goldman and Bernie Neenan.** *Demand Response from Day-Ahead Hourly Pricing for Large Customers.* Energy Analysis Department, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. April 2006.
- [107] *Assessment of Demand Response and Advanced Metering.* Staff Report, Federal Energy Regulatory Commission. December 2012.
- [108] *Demand Response, Smart Grid, & Renewable Energy Questions & Answers.* Another Fact Sheet from Demand Response and Smart Grid Coalition (DRSG). Washington. http://files.eesi.org/drsg_re_111308.pdf
- [109] **Νικολόπουλος Βασίλειος.** *Από το Smart Metering στα Smart Grids: ο ρόλος της Ενεργειακής Πληροφορικής και της Ψηφιακής Ενεργειακής Διαχείρισης.* Μάιος 2010.
- [110] Industry Metering Advisory Group, OFGEM et al. UK Guidelines for Smart metering systems in the UK, 2006.
- [111] **Bommirani B. and Thenmalar K.** *Optimization Technique for the Economic Dispatch in Power System Operation.* Proceedings of National conference on Advances in Electrical Energy Applications. Velammal institute of technology, Tamilnadu. India, January 2013.
- [112] *Energy Policy Act of 2005.* Public Law 109-58, 109th Congress. USA, August 2005.
- [113] **N. V. Ramana.** *Power System Operation and Control.* Pearson Education India. September, 2010.
- [114] **William W. Hogan.** *Competitive Electricity Market Design: A Wholesale Primer.* Center for Business and Government, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. United States of America, December 1998.
- [115] **Tom Stanton.** *Are Smart Microgrids in Your Future? Exploring Challenges and Opportunities for State Public Utility Regulators.* National Regulatory Research Institute. Report No. 12–15. October 2012.

- [116] **Antonella Scaglia, Claudio Brocca and Giordano Torri.** *A model for the design and development of smart micro grids.* Ansaldo Sistemi Industriali. Milano, Italy.
- [117] Chadi Assi, Martin Maier and Mosaddek Hossain Kamal Tushar. *Unveiling the Hidden Connections between E-mobility and Smart Microgrid.* Optical Zeitgeist Laboratory. [http://zeitgeistlab.ca/doc/Unveiling the Hidden Connections between E-mobility and Smart Microgrid.html](http://zeitgeistlab.ca/doc/Unveiling%20the%20Hidden%20Connections%20between%20E-mobility%20and%20Smart%20Microgrid.html)
- [118] **Nikos Hatziaargyriou.** *MICROGRIDS – Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids.* National Technical University of Athens, School of Electrical and Computer Engineering, Electric Power Division, Electric Energy Systems Laboratory, Athens, Greece.
- [119] Suleiman Abu-Sharkh, Rachel Li, Tom Markvart, Neil Ross, Peter Wilson, Runming Yao, Koen Steemers, Jonathan Kohler and Ray Arnold. *Microgrids: distributed on-site generation.* Tyndall Centre for Climate Change Research, Technical Report 22. March 2005.
- [120] **Sam Jaffe, Marcus Torchia, Jill Feblowit and Rick Nicholson.** *The Virtual Power Plant: Integrating Operations Technology and IT.* IDC Energy Insights. April 2011.
- [121] **Srdan Vukmirovic, Aleksandar Erdeljan, Filip Kulic and Slobodan Lukovic.** *Software architecture for Smart Metering systems with Virtual Power Plant.* 2010.
- [122] **Chuck Ross.** *Virtual Power Plants: Systems of the future.* July 2011.
- [123] **Kathleen Davis.** *Virtual Power Plants Set to Potentially Change Power Structure.* December 2010.
- [124] *Virtual Power Plants-Essential elements of Smart Grids.* <http://www.wesrch.com/wiki-3427-virtual-power-plants-ndash-essential-elements-of-smart-grids>
- [125] *Virtual Power Station - Renewable Aggregated Power.* <http://www.virtualpowerstation.com.au/faq>
- [126] *The definition of the virtual power plant (VPP).* http://www.greenenergy.hu/vpp_e.html
- [127] *Virtual power plant.* http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_power_plant
- [128] **Danny Pudjianto, Charlotte Ramsay & Goran Strbac.** *The FENIX vision: The Virtual Power Plant and system integration of distributed energy resources.* A European Project Supported by the European Commission within the Sixth Framework Programme for Research and Technological Development, Contract N°: SES6 - 518272. London, UK.
- [129] **Tildy Bayar.** *Virtual Power Plants: A New Model for Renewables Integration.* September 2013.
- [130] *The Virtual Power Plant.* http://www.smartcityevent.com/wp-content/uploads/2013/02/111021_Virtuelles_KW_EN1.pdf
- [131] **C. Gellings.** *Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid.* Electric Power Research Institute (EPRI), Technical Report. USA, March 2011.
- [132] **Spyros Chatzivasileiadis, Damien Ernst and Goran Andersson.** *The Global Grid.* January 2013.